

受領書

平成 11 年 8 月 11 日

特 許 庁 長 官

識別番号 100109656

氏名（名称） 三反崎 泰司 殿

提出日 平成 11 年 8 月 11 日

以下の書類を受領しました。

項番	書類名	整理番号	受付番号	出願番号通知（事件の表示）
1	特許願	TD00563	59900780366	特願平 11-227530

以 上

【書類名】 特許願
 【整理番号】 TD00563
 【提出日】 平成11年08月11日
 【あて先】 特許庁長官殿
 【国際特許分類】 G11B 05/39
 【発明の名称】 磁気変換素子、薄膜磁気ヘッドおよびそれらの製造方法
 【請求項の数】 33
 【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティーディーケ
 イ株式会社内

【氏名】 土屋 芳弘
 【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティーディーケ
 イ株式会社内

【氏名】 荒木 悟
 【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティーディーケ
 イ株式会社内

【氏名】 佐野 正志
 【特許出願人】

【識別番号】 000003067
 【氏名又は名称】 ティーディーケイ株式会社
 【代表者】 澤部 肇

【代理人】
 【識別番号】 100109656
 【弁理士】

【氏名又は名称】 三反崎 泰司
 【代理人】

【識別番号】 100098785

【弁理士】

【氏名又は名称】 藤島 洋一郎

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 0 1 9 4 8 2

【納付金額】 2 1 0 0 0

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気変換素子、薄膜磁気ヘッドおよびそれらの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 一対の対向する面を有する非磁性層と、
前記非磁性層の一方の面側に形成された軟磁性層と、
前記非磁性層の他方の面側に形成された強磁性層と、
前記強磁性層の前記非磁性層とは反対の側に形成された反強磁性層と
を含んで構成され、
前記軟磁性層の中に設けられると共に、磁性を有し且つ前記軟磁性層よりも電気抵抗が大きい軟磁性層間層を備えたことを特徴とする磁気変換素子。

【請求項 2】 前記軟磁性層の厚さを T_n とし、前記非磁性層と前記軟磁性層間層との間の距離を D_1 とすると、

$$0.3 T_n \leq D_1 < T_n$$

の関係が成立していることを特徴とする請求項 1 記載の磁気変換素子。

【請求項 3】 前記非磁性層と前記軟磁性層間層との間の距離は、1 nm 以上 8 nm 未満であることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の磁気変換素子。

【請求項 4】 前記軟磁性層は、
ニッケル (Ni)、コバルト (Co)、鉄 (Fe)、タンタル (Ta)、クロム (Cr)、ロジウム (Rh)、モリブデン (Mo) およびニオブ (Nb) からなる群のうちの少なくともニッケルを含む第 1 軟磁性層と、

ニッケル、コバルトおよび鉄からなる群のうちの少なくともコバルトを含む第 2 軟磁性層と

を有することを特徴とする請求項 1 ないし請求項 3 のいずれか 1 に記載の磁気変換素子。

【請求項 5】 前記軟磁性層間層は、前記第 1 軟磁性層の中に設けられたことを特徴とする請求項 4 記載の磁気変換素子。

【請求項 6】 前記軟磁性層間層は、酸化物、窒化物および酸化窒化物のうちの少なくとも 1 種を含むことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 5 のいずれか

1 に記載の磁気変換素子。

【請求項 7】 前記軟磁性層間層は、ニッケル、コバルト、鉄、タンタル、クロム、ロジウム、モリブデンおよびニオブからなる群のうちの少なくともニッケルと、酸素（O）および窒素（N）からなる群のうちの少なくとも 1 種とを含む、または、ニッケル、コバルトおよび鉄からなる群のうちの少なくともコバルトと、酸素および窒素からなる群のうちの少なくとも 1 種とを含むことを特徴とする請求項 6 記載の磁気変換素子。

【請求項 8】 前記強磁性層は、コバルトおよび鉄からなる群のうちの少なくともコバルトを含むことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 7 のいずれか 1 に記載の磁気変換素子。

【請求項 9】 前記反強磁性層は、白金（Pt）、ルテニウム（Ru）、ロジウム、パラジウム（Pd）、ニッケル、金（Au）、銀（Ag）、銅（Cu）、イリジウム（Ir）、クロムおよび鉄からなる群のうちの少なくとも 1 種と、マンガン（Mn）とを含むことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 8 のいずれか 1 に記載の磁気変換素子。

【請求項 10】 前記非磁性層は、銅、金および銀からなる群のうち少なくとも 1 種を含むことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 9 のいずれか 1 に記載の磁気変換素子。

【請求項 11】 前記軟磁性層間層の厚さは、0.5 nm 以上 1.0 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 10 のいずれか 1 記載の磁気変換素子。

【請求項 12】 更に、

前記強磁性層の中に設けられると共に、磁性を有し且つ前記強磁性層よりも電気抵抗が大きい強磁性層間層を備えたことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 11 のいずれか 1 に記載の磁気変換素子。

【請求項 13】 前記強磁性層の層厚を T_k とし、前記非磁性層と前記強磁性層間層との間の距離を D_2 とすると、

$$0.2 T_k \leq D_2 \leq 0.8 T_k$$

の関係が成立していることを特徴とする請求項 12 記載の磁気変換素子。

【請求項 1 4】 前記非磁性層と前記強磁性層間層との間の距離は、0.6 nm 以上 3.6 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 2 または請求項 1 3 に記載の磁気変換素子。

【請求項 1 5】 前記強磁性層間層は、酸化物、窒化物および酸化窒化物のうちの少なくとも 1 種を含むことを特徴とする請求項 1 2 ないし請求項 1 4 のいずれか 1 に記載の磁気変換素子。

【請求項 1 6】 前記強磁性層間層は、ニッケル、コバルトおよび鉄からなる群のうちの少なくともコバルトと、酸素および窒素からなる群のうちの少なくとも 1 種とを含むことを特徴とする請求項 1 5 記載の磁気変換素子。

【請求項 1 7】 前記強磁性層間層の厚さは、0.5 nm 以上 1.0 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 2 ないし請求項 1 6 のいずれか 1 記載の磁気変換素子。

【請求項 1 8】 一対の対向する面を有する非磁性層と、
前記非磁性層の一方の面側に形成された軟磁性層と、
前記非磁性層の他方の面側に形成された強磁性層と、
前記強磁性層の前記非磁性層とは反対の側に形成された反強磁性層と
を含んで構成され、
前記強磁性層の中に設けられると共に、磁性を有し且つこの強磁性層よりも電気抵抗が大きい強磁性層間層を備え、

前記強磁性層の厚さを T_k とし、前記非磁性層と前記強磁性層間層との間の距離を D_2 とすると、

$$0.2 T_k \leq D_2 \leq 0.8 T_k$$

の関係が成立していることを特徴とする磁気変換素子。

【請求項 1 9】 一対の対向する面を有する非磁性層と、
前記非磁性層の一方の面側に形成された軟磁性層と、
前記非磁性層の他方の面側に形成された強磁性層と、
前記強磁性層の前記非磁性層とは反対の側に形成された反強磁性層と
を含んで構成され、
前記強磁性層の中に設けられると共に、磁性を有し且つこの強磁性層よりも電

気抵抗が大きい強磁性層間層を備え、

前記非磁性層と前記強磁性層間層との間の距離は、0.6 nm以上3.6 nm以下であることを特徴とする磁気変換素子。

【請求項20】 前記強磁性層は、コバルトおよび鉄からなる群のうち少なくともコバルトを含むことを特徴とする請求項18または請求項19に記載の磁気変換素子。

【請求項21】 前記強磁性層間層は、酸化物、窒化物および酸化窒化物のうちの少なくとも1種を含むことを特徴とする請求項18ないし請求項20のいずれか1に記載の磁気変換素子。

【請求項22】 前記強磁性層間層は、ニッケル、コバルトおよび鉄からなる群のうちの少なくともコバルトと、酸素および窒素からなる群のうちの少なくとも1種とを含むことを特徴とする請求項21に記載の磁気変換素子。

【請求項23】 前記軟磁性層は、
ニッケル (Ni)、コバルト (Co)、鉄 (Fe)、タンタル (Ta)、クロム (Cr)、ロジウム (Rh)、モリブデン (Mo) およびニオブ (Nb) からなる群のうちの少なくともニッケルを含む第1軟磁性層と、

ニッケル、コバルトおよび鉄からなる群のうちの少なくともコバルトを含む第2軟磁性層と

を有することを特徴とする請求項18ないし請求項22のいずれか1に記載の磁気変換素子。

【請求項24】 前記反強磁性層は、白金 (Pt)、ルテニウム (Ru)、ロジウム、パラジウム (Pd)、ニッケル、金 (Au)、銀 (Ag)、銅 (Cu)、イリジウム (Ir)、クロムおよび鉄からなる群のうちの少なくとも1種と、マンガン (Mn) とを含むことを特徴とする請求項18ないし請求項23のいずれか1に記載の磁気変換素子。

【請求項25】 前記非磁性層は、銅、金および銀からなる群のうち少なくとも1種を含むことを特徴とする請求項18ないし請求項24のいずれか1に記載の磁気変換素子。

【請求項 26】 前記強磁性層間層の厚さは、0.5 nm 以上 1 nm 以下であることを特徴とする請求項 18 ないし請求項 25 のいずれか 1 に記載の磁気変換素子。

【請求項 27】 請求項 1 ないし請求項 26 のいずれか 1 に記載の磁気変換素子を有することを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項 28】 一对の対向する面を有する非磁性層と、前記非磁性層の一方の面側に形成された軟磁性層と、前記非磁性層の他方の面側に形成された強磁性層と、前記強磁性層の前記非磁性層とは反対の側に形成された反強磁性層とを含む磁気変換素子の製造方法であって、

前記軟磁性層の中に、この軟磁性層よりも電気抵抗が大きく且つ磁性を有する軟磁性層間層を形成する工程

を含むことを特徴とする磁気変換素子の製造方法。

【請求項 29】 前記軟磁性層の一部を酸化、窒化、または酸化および窒化することにより前記軟磁性層間層を形成することを特徴とする請求項 28 記載の磁気変換素子の製造方法。

【請求項 30】 一对の対向する面を有する非磁性層と、前記非磁性層の一方の面側に形成された軟磁性層と、前記非磁性層の他方の面側に形成された強磁性層と、前記強磁性層の前記非磁性層とは反対の側に形成された反強磁性層とを含む磁気変換素子の製造方法であって、

前記強磁性層の中に、この強磁性層よりも電気抵抗が大きく且つ磁性を有する強磁性層間層を形成する工程を含むと共に、

前記強磁性層の厚さを T_k とし、前記非磁性層と前記強磁性層間層との間の距離を D_2 とすると、 $0.2 T_k \leq D_2 \leq 0.8 T_k$ の関係が成立する位置に前記強磁性層間層を形成する

ことを特徴とする磁気変換素子の製造方法。

【請求項 31】 一对の対向する面を有する非磁性層と、前記非磁性層の一方の面側に形成された軟磁性層と、前記非磁性層の他方の面側に形成された強磁性層と、前記強磁性層の前記非磁性層とは反対の側に形成された反強磁性層とを含む磁気変換素子の製造方法であって、

前記強磁性層の中に、この強磁性層よりも電気抵抗が大きく且つ磁性を有する強磁性層間層を形成する工程を含むと共に、

前記非磁性層と前記強磁性層間層との間の距離が 0.6 nm 以上 3.6 nm 以下となる位置に前記強磁性層間層を形成する

ことを特徴とする磁気変換素子の製造方法。

【請求項 32】 前記強磁性層の一部を酸化、窒化、または酸化および窒化することにより前記強磁性層間層を形成することを特徴とする請求項 30 または請求項 31 に記載の磁気変換素子の製造方法。

【請求項 33】 請求項 28 ないし請求項 32 のいずれか 1 に記載の磁気変換素子の製造方法を用いることを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、磁気変換素子、それを用いた薄膜磁気ヘッドおよびそれらの製造方法に関するものであり、より詳細には、より良好な抵抗変化率を得ることができる磁気変換素子、薄膜磁気ヘッドおよびそれらの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、ハードディスクなどの面記録密度の向上に伴って、薄膜磁気ヘッドの性能向上が求められている。薄膜磁気ヘッドとしては、磁気変換素子の一つである磁気抵抗効果素子（以下、MR (Magnetoresistive) 素子と記す）を有する再生ヘッドと、誘導型磁気変換素子を有する記録ヘッドとを積層した構造の複合型薄膜磁気ヘッドが広く用いられている。

【0003】

MR 素子としては、異方性磁気抵抗効果 (AMR (Anisotropic Magnetoresistive) 効果) を示す磁性膜 (AMR 膜) を用いた AMR 素子と、巨大磁気抵抗効果 (GMR (Giant Magnetoresistive) 効果) を示す磁性膜 (GMR 膜) を用いた GMR 素子などがある。

【 0 0 0 4 】

A M R 素子を用いた再生ヘッドは A M R ヘッドと呼ばれ、G M R 素子を用いた再生ヘッドは G M R ヘッドと呼ばれる。A M R ヘッドは、面記録密度が $1 \text{ G b i t} / \text{inch}^2$ を超える再生ヘッドとして利用され、G M R ヘッドは、面記録密度が $3 \text{ G b i t} / \text{inch}^2$ をを超える再生ヘッドとして利用されている。

【 0 0 0 5 】

ところで、G M R 膜としては、「多層型（アンチフェロ型）」、「誘導フェリ型」、「グラニュラ型」、「スピバルブ型」等が提案されている。これらの中で、比較的構成が単純で、弱い磁場でも大きな抵抗変化を示し、量産に好ましいと考えられる G M R 膜は、スピバルブ型である。

【 0 0 0 6 】

図 1 9 は、一般のスピバルブ型 G M R 膜（以下、スピバルブ膜と記す）の構成を表すものである。図中符号 S で示した面は磁気記録媒体と対向する面に対応する。このスピバルブ膜は、下地層 9 1 の上に、軟磁性材料からなる軟磁性層 9 2、非磁性材料からなる非磁性層 9 4、強磁性材料からなる強磁性層 9 5、反強磁性材料からなる反強磁性層 9 6 および保護層 9 7 をこの順に積層して構成したものである。強磁性層 9 5 と反強磁性層 9 6 の界面では交換結合が生じ、これにより強磁性層 9 5 の磁化 M_p の向きが一定の方向に固定される。一方、軟磁性層 9 2 の磁化 M_f の向きは、外部磁場によって自由に変化する。

【 0 0 0 7 】

強磁性層 9 5、非磁性層 9 4 および軟磁性層 9 2 には例えばバイアス磁場 H_b の方向に直流電流が流されているが、この電流は、軟磁性層 9 2 の磁化 M_f の向きと強磁性層 9 5 の磁化 M_p の向きとの相対角度に応じた抵抗を受ける。信号磁場を受けると、軟磁性層 9 2 の磁化 M_f の向きが変化し、スピバルブ膜の電気抵抗が変化する。この抵抗の変化は、電圧の変化として検出される。近年、 $20 \text{ G b i t} / \text{inch}^2$ を越える超高密度磁気記録を可能にするために、この抵抗の変化率（M R 変化率とも言う）をより大きくすることが望まれている。

【 0 0 0 8 】

そこで、文献“CoFe specular spin valves with a nano oxide layer”, 1999

Digests of INTERMAG 99, published by May 18, 1999では、スピバルブ膜の強磁性層にNOL層と呼ばれる酸化層を設けることによって抵抗変化率を改善したとの報告がなされている。

【 0 0 0 9 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述の文献には、NOL層と呼ばれる酸化層の材質や膜厚については、何も述べられていない。また、強磁性層のどこにNOL層を形成したのかについても明らかにされていない。更に、抵抗変化率以外の他の特性との関係についても不明である。

【 0 0 1 0 】

特に、上記の公知文献では軟磁性層の保磁力が14 (Oe : エルステッド) であり、一般のスピバルブ膜における保磁力の許容限界である3 (Oe) よりも大きいことから繰り返し精度が低下してしまうという問題がある。

【 0 0 1 1 】

本発明は、かかる問題点に鑑みて成されたもので、その目的は、抵抗変化率を大きくすることができ且つ他の特性についても良好な値を得ることができる磁気変換素子、薄膜磁気ヘッド、およびそれらの製造方法を提供することにある。

【 0 0 1 2 】

【課題を解決するための手段】

本発明による磁気変換素子は、一对の対向する面を有する非磁性層と、非磁性層の一方の面側に形成された軟磁性層と、非磁性層の他方の面側に形成された強磁性層と、強磁性層の非磁性層とは反対の側に形成された反強磁性層とを含んで構成され、軟磁性層の中に設けられると共に、磁性を有し且つ軟磁性層よりも電気抵抗が大きい軟磁性層間層を備えたものである。

【 0 0 1 3 】

本発明による磁気変換素子では、軟磁性層よりも高抵抗の軟磁性層間層が軟磁性層の中に存在するので、検出電流が磁気変換素子中を流れる際に、この軟磁性層間層によって電子が反射され、電子の移動する経路が制限される。その結果、抵抗変化率が大きくなる。また、軟磁性層間層は磁性を有しているので、信号磁

場などの外部磁場に応じて、軟磁性層間層を挟んで対向する軟磁性層の2つの部分のそれぞれの磁化が一緒に一体となって変化する。

【 0 0 1 4 】

なお、本発明による磁気変換素子では、軟磁性層の厚さを T_n とし、非磁性層と軟磁性層間層との間の距離を D_1 とすると、 $0.3 T_n \leq D_1 < T_n$ の関係が成立していることが望ましい。また、非磁性層と軟磁性層間層との間の距離は、1 nm以上8 nm未満であることが望ましい。更に、軟磁性層がNi（ニッケル）、Co（コバルト）、Fe（鉄）、Ta（タンタル）、Cr（クロム）、Rh（ロジウム）、Mo（モリブデン）およびNb（ニオブ）からなる群のうちの少なくともNiを含む第1軟磁性層と、Ni、CoおよびFeからなる群のうちの少なくともCoを含む第2軟磁性層とを有する場合には、軟磁性層間層は第1軟磁性層の中に設けられることが望ましい。

【 0 0 1 5 】

加えて、強磁性層の中に、磁性を有し且つ強磁性層よりも電気抵抗が大きい強磁性層間層を設けるようにしても良い。このように構成すれば、検出電流が磁気変換素子中を流れる際に、軟磁性層中の軟磁性層間層と強磁性層中の強磁性層間層によって電子の移動する経路がさらに制限され、抵抗変化率がさらに大きくなる。なお、この場合、強磁性層の厚さを T_k とし、非磁性層と強磁性層間層との間の距離を D_2 とすると、 $0.2 T_k \leq D_2 \leq 0.8 T_k$ の関係が成立していることが望ましい。また、非磁性層と強磁性層間層との間の距離は、0.6 nm以上3.6 nm以下であることが望ましい。

【 0 0 1 6 】

本発明による他の磁気変換素子は、一对の対向する面を有する非磁性層と、非磁性層の一方の面側に形成された軟磁性層と、非磁性層の他方の面側に形成された強磁性層と、強磁性層の非磁性層とは反対の側に形成された反強磁性層とを含んで構成され、強磁性層の中に設けられると共に、磁性を有し且つ強磁性層よりも電気抵抗が大きい強磁性層間層を備え、強磁性層の層厚を D_2 とし、非磁性層と強磁性層間層との間の距離を T_k とすると、 $0.2 T_k \leq D_2 \leq 0.8 T_k$ の関係が成立するようにしたものである。

【 0 0 1 7 】

本発明による更に他の磁気変換素子は、一对の対向する面を有する非磁性層と、非磁性層の一方の面側に形成された軟磁性層と、非磁性層の他方の面側に形成された強磁性層と、強磁性層の非磁性層とは反対の側に形成された反強磁性層とを含んで構成され、強磁性層の中に設けられると共に、磁性を有し且つ強磁性層よりも電気抵抗が大きい強磁性層間層を備え、非磁性層と強磁性層間層との間の距離が0.6 nm以上3.6 nm以下のものである。

【 0 0 1 8 】

本発明による他の磁気変換素子および更に他の磁気変換素子では、検出電流が磁気変換素子中を流れる際に、強磁性層の中に設けられた強磁性層間層によって電子が反射され、電子の移動する経路が制限されるので、抵抗変化率が大きくなる。また、強磁性層間層が磁性を有しているので、強磁性層間層を挟んで対向する強磁性層の2つの部分のそれぞれの磁化が、反強磁性層との交換結合により共に固定される。

【 0 0 1 9 】

本発明による薄膜磁気ヘッドは、本発明による磁気変換素子を備えたものである。

【 0 0 2 0 】

本発明による磁気変換素子の製造方法は、一对の対向する面を有する非磁性層と、非磁性層の一方の面側に形成された軟磁性層と、非磁性層の他方の面側に形成された強磁性層と、強磁性層の非磁性層とは反対の側に形成された反強磁性層とを含む磁気変換素子を製造するものであって、軟磁性層の中に軟磁性層よりも電気抵抗が大きく且つ磁性を有する軟磁性層間層を形成する工程を含んでいる。

【 0 0 2 1 】

なお、本発明による磁気変換素子の製造方法では、軟磁性層の一部を酸化、窒化、または酸化および窒化することにより軟磁性層間層を形成するようにしても良い。

【 0 0 2 2 】

本発明による他の磁気変換素子の製造方法は、一对の対向する面を有する非磁

性層と、非磁性層の一方の面側に形成された軟磁性層と、非磁性層の他方の面側に形成された強磁性層と、強磁性層の非磁性層とは反対の側に形成された反強磁性層とを含む磁気変換素子を製造するものであって、強磁性層の中に強磁性層よりも電気抵抗が大きく且つ磁性を有する強磁性層間層を形成する工程を含むと共に、強磁性層の厚さを T_k とし、非磁性層と強磁性層間層との間の距離を D_2 とすると、 $0.2 T_k \leq D_2 \leq 0.8 T_k$ の関係が成立する位置に強磁性層間層を形成するものである。

【 0 0 2 3 】

本発明による更に他の磁気変換素子の製造方法は、一対の対向する面を有する非磁性層と、非磁性層の一方の面側に形成された軟磁性層と、非磁性層の他方の面側に形成された強磁性層と、強磁性層の非磁性層とは反対の側に形成された反強磁性層とを含む磁気変換素子を製造するものであって、強磁性層の中に強磁性層よりも電気抵抗が大きく且つ磁性を有する強磁性層間層を形成する工程を含むと共に、非磁性層と強磁性層間層との間の距離が 0.6 nm 以上 3.6 nm 以下となる位置に強磁性層間層を形成するものである。

【 0 0 2 4 】

なお、本発明による他の磁気変換素子の製造方法および更に他の磁気変換素子の製造方法では、強磁性層の一部を酸化、窒化、または酸化および窒化することにより強磁性層間層を形成するようにしても良い。

【 0 0 2 5 】

本発明による薄膜ヘッドの製造方法は、磁気変換素子を形成する工程において、本発明による磁気変換素子の製造方法を用いるようにしたものである。

【 0 0 2 6 】

【発明の実施の形態】

〔第 1 の実施の形態〕

<MR 素子および薄膜磁気ヘッドの構成>

最初に、図 1 ないし図 7 を参照して、本発明の第 1 の実施の形態に係る磁気変換素子の一具体例である MR 素子およびそれを用いた薄膜磁気ヘッドの構成について説明する。

【 0 0 2 7 】

図 1 は、本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッド 1 0 0 を備えたアクチュエータアーム 2 0 0 の構成を表すものである。このアクチュエータアーム 2 0 0 は、例えば、図示しないハードディスク装置などで用いられるものであり、薄膜磁気ヘッド 1 0 0 が形成されたスライダ 2 1 0 を有している。このスライダ 2 1 0 は、例えば、支軸 2 2 0 により回転可能に支持された腕部 2 3 0 の先端に搭載されている。この腕部 2 3 0 は、例えば、図示しないボイスコイルモータの駆動力により回転するようになっており、これによりスライダ 2 1 0 がハードディスクなどの磁気記録媒体 3 0 0 の記録面（図 1 においては記録面の下面）に沿ってトラックラインを横切る方向 x に移動するようになっている。なお、磁気記録媒体 3 0 0 は、例えば、スライダ 2 1 0 がトラックラインを横切る方向 x に対してほぼ直交する方向 z に回転するようになっており、このような磁気記録媒体 3 0 0 の回転およびスライダ 2 1 0 の移動により磁気記録媒体 3 0 0 に情報が記録され、または記録された情報が読み出されるようになっている。

【 0 0 2 8 】

図 2 は、図 1 に示したスライダ 2 1 0 の構成を表すものである。このスライダ 2 1 0 は、例えば、 $Al_2O_3 \cdot TiC$ （アルティック）よりなるブロック状の基体 2 1 1 を有している。この基体 2 1 1 は、例えば、ほぼ六面体状に形成されており、そのうちの一面が磁気記録媒体 3 0 0（図 1 参照）の記録面に近接して対向するように配置されている。この磁気記録媒体 3 0 0 の記録面と対向する面はエアベアリング面（ABS）2 1 1 a と呼ばれ、磁気記録媒体 3 0 0 が回転する際には、磁気記録媒体 3 0 0 の記録面とエアベアリング面 2 1 1 a との間に生じる空気流により、スライダ 2 1 0 が記録面との対向方向 y において記録面から離れるように微少量移動し、エアベアリング面 2 1 1 a と磁気記録媒体 3 0 0 との間に一定の隙間ができるようになっている。基体 2 1 1 のエアベアリング面 2 1 1 a に対する一側面（図 2 においては左側の側面）には、薄膜磁気ヘッド 1 0 0 が設けられている。

【 0 0 2 9 】

図 3 は、薄膜磁気ヘッド 1 0 0 の構成を分解して表すものである。また、図 4

は、図 3 に示した矢印 I V 方向から見た平面構造を表し、図 5 は、図 4 に示した V - V 線に沿った矢視方向の断面構造を表し、図 6 は、図 4 に示した V I - V I 線に沿った矢視方向すなわち図 5 に示した V I - V I 線に沿った矢視方向の断面構造を表し、図 7 は、図 6 に示した構造の一部を取り出して表すものである。この薄膜磁気ヘッド 1 0 0 は、磁気記録媒体 3 0 0 に記録された磁気情報を再生する再生ヘッド部 1 0 1 と、磁気記録媒体 3 0 0 のトラックラインに磁気情報を記録する記録ヘッド部 1 0 2 とが一体に構成されたものである。

【 0 0 3 0 】

図 3 および図 5 に示したように、再生ヘッド部 1 0 1 は、例えば、基体 2 1 1 の上に、絶縁層 1 1，下部シールド層 1 2，下部シールドギャップ層 1 3，上部シールドギャップ層 1 4 および上部シールド層 1 5 がエアベアリング面 2 1 1 a の側においてこの順に積層された構造を有している。絶縁層 1 1 は、例えば、積層方向の厚さ（以下、単に厚さと記す）が $2\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$ であり、 Al_2O_3 （アルミナ）により構成されている。下部シールド層 1 2 は、例えば、厚さが $1\ \mu\text{m} \sim 3\ \mu\text{m}$ であり、NiFe（ニッケル鉄合金：パーマロイ）などの磁性材料により構成されている。下部シールドギャップ層 1 3 および上部シールドギャップ層 1 4 は、例えば、厚さがそれぞれ $10\ \text{nm} \sim 100\ \text{nm}$ であり、 Al_2O_3 または AlN（窒化アルミニウム）によりそれぞれ構成されている。上部シールド層 1 5 は、例えば、厚さが $1\ \mu\text{m} \sim 4\ \mu\text{m}$ であり、NiFe などの磁性材料により構成されている。なお、この上部シールド層 1 5 は、記録ヘッド部 1 0 2 の下部磁極としての機能も兼ね備えている。

【 0 0 3 1 】

また、下部シールドギャップ層 1 3 と上部シールドギャップ層 1 4 との間には、スピンバルブ膜である積層体 2 0 を含む MR 素子 1 1 0 が埋設されている。この再生ヘッド部 1 0 1 は、磁気記録媒体 3 0 0 からの信号磁界に応じて積層体 2 0 における電気抵抗が変化することを利用して、磁気記録媒体 3 0 0 に記録された情報を読み出すようになっている。

【 0 0 3 2 】

この積層体 2 0 は、例えば、図 6 および図 7 に示したように、下部シールドギ

ャップ層 1 3 の上に、下地層 2 1，第 1 軟磁性層 2 2，第 2 軟磁性層 2 3，非磁性層 2 4，強磁性層 2 5，反強磁性層 2 6 および保護層 2 7 がこの順に積層された構造を有している。下地層 2 1 は、例えば、厚さが 5 n m であり、T a を含んでいる。

【 0 0 3 3 】

第 1 軟磁性層 2 2 は、例えば、厚さが 1 n m ～ 8 n m であり、N i，C o，F e，T a，C r，R h，M o および N b からなる群のうちの少なくとも N i を含む磁性材料により構成されている。具体的には、 $[N i_x C o_y F e_{100-(x+y)}]_{100-z} M_1 z$ により構成されることが好ましい。式中、 M_1 は T a，C r，R h，M o および N b のうちの少なくとも 1 種を表し、 x ， y ， z はそれぞれ原子 % で $75 \leq x \leq 90$ 、 $0 \leq y \leq 15$ 、 $0 \leq z \leq 15$ の範囲内である。

【 0 0 3 4 】

第 2 軟磁性層 2 3 は、例えば、厚さが 0. 5 n m ～ 3 n m であり、N i，C o および F e からなる群のうちの少なくとも C o を含む磁性材料により構成されている。具体的には、(1 1 1) 面が積層方向に配向している $C o_x F e_y N i_{100-(x+y)}$ により構成されることが好ましい。式中、 x ， y はそれぞれ原子 % で $70 \leq x \leq 100$ 、 $0 \leq y \leq 25$ の範囲内である。なお、これら第 1 軟磁性層 2 2 および第 2 軟磁性層 2 3 は共にフリー層とも言われる軟磁性層を構成しており、磁気記録媒体 3 0 0 からの信号磁界に応じて磁界の向きが変化するようになっている。軟磁性層の厚さ、すなわち第 1 軟磁性層 2 2 および第 2 軟磁性層 2 3 の厚さの合計は、例えば、3 n m ～ 8 n m とされている。

【 0 0 3 5 】

非磁性層 2 4 は、例えば、厚さが 1. 8 n m ～ 3. 0 n m であり、C u (銅)，A u (金) および A g (銀) からなる群のうち少なくとも 1 種を 8 0 重量 % 以上含む非磁性材料により構成されている。強磁性層 2 5 は、例えば、厚さが 2 n m ～ 4. 5 n m であり、C o および F e からなる群のうちの少なくとも C o を含む磁性材料により構成されている。この強磁性層 2 5 では、磁性材料の (1 1 1) 面が積層方向に配向していることが好ましい。なお、この強磁性層 2 5 はピンド層とも言われ、強磁性層 2 5 と反強磁性層 2 6 との界面における交換結合によ

り、磁化の向きが固定されている。ちなみに、本実施の形態では y 方向に固定されている。

【 0 0 3 6 】

反強磁性層 2 6 は、例えば、厚さが 5 ～ 3 0 n m であり、P t (白金), R u (ルテニウム), R h, P d (パラジウム), N i, A u, A g, C u, I r (イリジウム), C r および F e からなる群のうちの少なくとも 1 種 M_{II} と、マンガ (M n) とを含む反強磁性材料により構成されている。このうち M n の含有量は 4 5 原子% 以上 9 5 原子% 以下、その他の元素 M_{II} の含有量は 5 原子% 以上 6 5 原子% 以下であることが好ましい。この反強磁性材料には、熱処理しなくても反強磁性を示し、強磁性材料との間に交換結合磁界を誘起する非熱処理系反強磁性材料と、熱処理により反強磁性を示すようになる熱処理系反強磁性材料とがある。この反強磁性層 2 6 は、そのどちらにより構成されていてもよい。

【 0 0 3 7 】

なお、非熱処理系反強磁性材料には γ 相を有する M n 合金などがあり、具体的には、R u R h M n (ルテニウムロジウムマンガ合金), F e M n (鉄マンガ合金) あるいは I r M n (イリジウムマンガ合金) などがある。熱処理系反強磁性材料には規則結晶構造を有する M n 合金などがあり、具体的には、P t M n (白金マンガ合金), N i M n (ニッケルマンガ合金) および P t R h M n (白金ロジウムマンガ合金) などがある。保護層 2 7 は、例えば、厚さが 5 n m であり、T a により構成されている。

【 0 0 3 8 】

この積層体 2 0 では、また、第 1 軟磁性層 2 2 が積層方向において第 1 下層 2 2 a と第 1 上層 2 2 b とに分割されている。この第 1 下層 2 2 a と第 1 上層 2 2 b との間、すなわち第 1 軟磁性層 2 2 の中には、磁性を有し且つ第 1 軟磁性層 2 2 よりも電気抵抗が大きい軟磁性層間層 2 8 が設けられている。この軟磁性層間層 2 8 は、検出電流が積層体 2 0 を流れる際に、電子 e の少なくとも一部を反射して電子 e の移動する経路を制限することにより、積層体 2 0 の抵抗変化率を大きくするためのものである。また本実施の形態では、このように第 1 軟磁性層 2 2 の中に軟磁性層間層 2 8 を設けることにより、保磁力を小さく保ちつつ、抵抗

変化率を大きくすることができるようになっている。

【 0 0 3 9 】

この軟磁性層間層 2 8 は、例えば、第 1 軟磁性層 2 2 を構成する材料よりも電気抵抗が大きい材料で構成されることにより第 1 軟磁性層 2 2 よりも大きな電気抵抗を有するようになっている。この軟磁性層間層 2 8 は、例えば、酸化物、窒化物および酸化窒化物のうちの少なくとも 1 種を含むことが好ましい。磁氣的に安定であり、出力変動を少なくすることができるからである。またこの軟磁性層間層 2 8 は、例えば、第 1 軟磁性層 2 2 と構成元素の一部が共通していることが好ましい。具体的には、Ni, Co, Fe, Ta, Cr, Rh, Mo および Nb からなる群のうちの少なくとも Ni と、O (酸素) および N (窒素) からなる群のうちの少なくとも 1 種とを含むことが好ましい。例えば、第 1 軟磁性層 2 2 の一部を酸化、窒化、あるいは酸化および窒化することにより形成するようにすれば、良好な軟磁性層間層 2 8 を容易に得ることができるからである。軟磁性層間層 2 8 の厚さ T_{t1} は、例えば、0.5 nm 以上 1.0 nm 以下であることが好ましい。厚すぎると第 1 下層と第 1 上層との磁氣的結合力が弱まり大きな抵抗変化率が得られないと共に、保磁力も大きくなってしまいうからであり、薄すぎると電子の移動経路を十分に制限することができず、大きな抵抗変化率を得ることができないからである。

【 0 0 4 0 】

軟磁性層間層 2 8 の位置、例えば軟磁性層間層 2 8 と非磁性層 2 4 との間の距離 D_1 は、軟磁性層の厚さを T_n とすると、 $0.3 T_n \leq D_1 < T_n$ の範囲内であることが好ましい。なお、本実施の形態における軟磁性層の厚さ T_n は、第 1 上層 2 2 a の厚さ T_{n1a} と、第 1 上層 2 2 b の厚さ T_{n1b} と、第 2 軟磁性層 2 3 の厚さ T_{n2} とを加算した値である。本実施の形態における軟磁性層間層 2 8 と非磁性層 2 4 との間の距離 D_1 は、第 1 上層 2 2 b の厚さ T_{n1b} と、第 2 軟磁性層 2 3 の厚さ T_{n2} とを加算した値である。また、軟磁性層間層 2 8 と非磁性層 2 4 との間の距離 D_1 は、具体的な数値で表すと、1 nm 以上 8 nm 以下の範囲内であることが好ましい。距離 D_1 がこれらの範囲よりも長い場合には、電子 e の移動経路を制限する効果を十分に得ることができず、大きな抵抗変化率が得られな

いからであり、距離 D_1 がこれらの範囲よりも短い場合には、電子 e が集中しすぎて逆に効率がおち、抵抗変化率が下がってしまうためである。

【 0 0 4 1 】

積層体 2 0 の両側、すなわち積層方向に対して垂直な方向の両側には、磁区制御膜 3 0 a, 3 0 b がそれぞれ設けられており、第 1 軟磁性層 2 2 および第 2 軟磁性層 2 3 の磁化の向きを揃え、単磁区化していわゆるバルクハウゼンノイズの発生を抑えるようになっている。この磁区制御膜 3 0 a は、磁区制御用強磁性膜 3 1 a と、磁区制御用反強磁性膜 3 2 a とを下部シールドギャップ層 1 3 の側から順に積層した構造とされている。磁区制御膜 3 0 b も磁区制御膜 3 0 a と同一の構成とされている。これら磁区制御用強磁性膜 3 1 a, 3 1 b の磁化の向きは、磁区制御用強磁性膜 3 1 a, 3 1 b と磁区制御用反強磁性膜 3 2 a, 3 2 b とのそれぞれの界面における交換結合によってそれぞれ固定されている。これにより、例えば図 7 に示したように、磁区制御用強磁性膜 3 1 a, 3 1 b の近傍では第 1 軟磁性層 2 2 および第 2 軟磁性層 2 3 に対するバイアス磁界 H_b が x 方向に発生している。

【 0 0 4 2 】

磁区制御用強磁性膜 3 1 a, 3 1 b は、例えば、それぞれ厚さが $10\text{ nm} \sim 50\text{ nm}$ であり、第 1 軟磁性層 2 2 および第 2 軟磁性層 2 3 に対応してそれぞれ設けられている。また、磁区制御用強磁性膜 3 1 a, 3 1 b は、例えば、NiFe, NiFe と Co との積層膜、Ni, Fe および Co からなる磁性材料などによりそれぞれ構成されている。磁区制御用反強磁性膜 3 2 a, 3 2 b は、例えば、それぞれ厚さが $5\text{ nm} \sim 30\text{ nm}$ であり、反強磁性材料により構成されている。この反強磁性材料は、非熱処理系反強磁性材料でも熱処理系反強磁性材料でも良いが、非熱処理系反強磁性材料が好ましい。

【 0 0 4 3 】

なお、磁区制御膜 3 0 a, 3 0 b としては、TiW/CoPt (コバルト白金合金), TiW/CoCrPt (コバルトクロム白金合金) のような硬磁性材料 (ハードマグネット) を用いてもよい。

【 0 0 4 4 】

これら磁区制御膜 3 0 a , 3 0 b の上には、T a と A u との積層膜、T i W (チタンタングステン合金) と T a との積層膜、あるいは T i N (窒化チタン) と T a との積層膜などよりなるリード層 3 3 a , 3 3 b がそれぞれ設けられており、磁区制御膜 3 0 a , 3 0 b を介して積層体 2 0 に電流を流すことができるようになっている。

【 0 0 4 5 】

記録ヘッド部 1 0 2 は、例えば、図 3 および図 5 に示したように、上部シールド層 1 5 の上に、 Al_2O_3 などの絶縁膜よりなる厚さ $0.1\mu m \sim 0.5\mu m$ の記録ギャップ層 4 1 を有している。この記録ギャップ層 4 1 は、後述する薄膜コイル 4 3 , 4 5 の中心部に対応する位置に開口部 4 1 a を有している。この記録ギャップ層 4 1 の上には、スロートハイトを決定する厚さ $1.0\mu m \sim 5.0\mu m$ のフォトレジスト層 4 2 を介して、厚さ $1\mu m \sim 3\mu m$ の薄膜コイル 4 3 およびこれを覆うフォトレジスト層 4 4 がそれぞれ形成されている。このフォトレジスト層 4 4 の上には、厚さ $1\mu m \sim 3\mu m$ の薄膜コイル 4 5 およびこれを覆うフォトレジスト層 4 6 がそれぞれ形成されている。なお、本実施の形態では薄膜コイルが 2 層積層された例を示したが、薄膜コイルの積層数は 1 層または 3 層以上であってもよい。

【 0 0 4 6 】

記録ギャップ層 4 1 およびフォトレジスト層 4 2 , 4 4 , 4 6 の上には、例えば、N i F e または F e N (窒化鉄) などの高飽和磁束密度を有する磁性材料よりなる厚さ約 $3\mu m$ の上部磁極 4 7 が形成されている。この上部磁極 4 7 は、薄膜コイル 4 3 , 4 5 の中心部に対応して設けられた記録ギャップ層 4 1 の開口部 4 1 a を介して、上部シールド層 1 5 と接触しており、磁氣的に連結している。この上部磁極 4 7 の上には、図 3 ないし図 6 では図示しないが、例えば、 Al_2O_3 よりなる厚さ $20\mu m \sim 30\mu m$ のオーバーコート層 (図 1 6 におけるオーバーコート層 4 8) が全体を覆うように形成されている。これにより、この記録ヘッド部 1 0 2 は、薄膜コイル 4 3 , 4 5 に流れる電流によって下部磁極である上部シールド層 1 5 と上部磁極 4 7 との間に磁束を生じ、記録ギャップ層 4 1 の

近傍に生ずる磁束によって磁気記録媒体 300 を磁化し、情報を記録するようになっている。

【 0 0 4 7 】

<MR素子および薄膜磁気ヘッドの動作>

次に、このように構成されたMR素子 110 および薄膜磁気ヘッド 100 による再生動作について、図 6 および図 7 を中心に参照して説明する。

【 0 0 4 8 】

この薄膜磁気ヘッド 100 では、再生ヘッド部 101 により磁気記録媒体 300 に記録された情報を読み出す。再生ヘッド部 101 では、積層体 20 の強磁性層 25 と反強磁性層 26 との界面での交換結合による交換結合磁界により、例えば、強磁性層 25 の磁化 M_p の向きが y 方向に固定されている。また、磁区制御膜 30a, 30b の発生するバイアス磁界 H_b により、第 1 軟磁性層 22, 第 2 軟磁性層 23 および軟磁性層間層 28 の磁化 M_f はバイアス磁界 H_b の方向（ここでは x 方向）に揃えられる。なお、バイアス磁界 H_b と強磁性層 25 の磁化 M_p の向きは互いにほぼ直交している。

【 0 0 4 9 】

情報を読み出す際には、積層体 20 に、リード層 33a, 33b を通じて定常電流である検出電流（センス電流）が例えばバイアス磁界 H_b の方向に流される。その際、電子 e の多くは、電気抵抗が低い第 1 軟磁性層 22 から強磁性層 25 の間において非磁性層 24 を中心として移動する。但し、ここでは、軟磁性層間層 28 の電気抵抗が第 1 軟磁性層 22 よりも大きくなっているため、第 1 上層 22b から軟磁性層間層 28 に移動しようとする電子 e の少なくとも一部は、軟磁性層間層 28 の表面で反射される。すなわち、電流は、主として第 1 上層 22b, 第 2 軟磁性層 23, 非磁性層 24 および強磁性層 25 において流れる。

【 0 0 5 0 】

その際、磁気記録媒体 300 からの信号磁界を受けると、第 1 軟磁性層 22, 第 2 軟磁性層 23 および軟磁性層間層 28 における磁化 M_f の向きが変化する。なお、第 1 軟磁性層 22 は軟磁性層間層 28 によって第 1 下層 22a と第 1 上層 22b とに分かれているが、軟磁性層間層 28 は磁性を有しているため、第 1 下

層 2 2 a および第 1 上層 2 2 b のそれぞれの磁化 M_f の向きは一緒に一体的とな
って変化する。ちなみに、強磁性層 2 5 の磁化 M_p の向きは、反強磁性層 2 6 に
より固定されているので、磁気記録媒体 3 0 0 からの信号磁界を受けても変化し
ない。

【 0 0 5 1 】

このように磁化 M_f の向きが変化すると、積層体 2 0 を流れる電流は、第 1 軟
磁性層 2 2, 第 2 軟磁性層 2 3 および軟磁性層間層 2 8 の磁化 M_f の向きと強磁
性層 2 5 の磁化 M_p の向きとの相対角度に応じた抵抗を受ける。これは、非磁性
層と磁性層との界面における電子の散乱の度合いが磁性層の磁化方向に依存する
という「スピン依存散乱」と呼ばれる現象によるものである。この積層体 2 0 の
抵抗の変化量は電圧の変化量として検出され、磁気記録媒体 3 0 0 に記録された
情報が読みだされる。

【 0 0 5 2 】

図 8 は、本実施の形態における信号磁界と積層体 2 0 の抵抗との関係の一例を
表すものである。積層体 2 0 の抵抗の最大値を R_{max} とし、最小値を R_{min}
とすると、抵抗変化率は $(R_{max} - R_{min}) / R_{min} \times 100$ で表される
。また、図中、符号 Δ で示すヒステリシスの幅は、第 1 軟磁性層 2 2、第 2 軟磁
性層 2 3 および軟磁性層間層 2 8 を一体の軟磁性層と見なした時の保磁力 H_c の
2 倍に相当する。以下の説明において、「軟磁性層の保磁力 H_c 」とは、信号磁
界と積層体 2 0 の抵抗との関係を表す曲線（いわゆる MR 曲線）におけるヒステ
リシスの幅 Δ の $1 / 2$ と定義する。

【 0 0 5 3 】

ここで、軟磁性層間層 2 8 が設けられていなければ、積層体 2 0 における主な
電子 e の通路は図 7 において矢印 B で示す範囲、つまり第 1 下層 2 2 a, 第 1 上
層 2 2 b, 第 2 軟磁性層 2 3, 非磁性層 2 4 および強磁性層 2 5 である。これに
対し、本実施の形態では、第 1 軟磁性層 2 2 の中に軟磁性層間層 2 8 が設けられ
ているので、電子 e の主な通路は図 7 において矢印 A で示す範囲、つまり第 1 上
層 2 2 b, 第 2 軟磁性層 2 3, 非磁性層 2 4 および強磁性層 2 5 に狭められる。
以上より、電子が非磁性層界面に集中するため「スピン依存散乱」に寄与する電

子数が増加し、抵抗変化率が大きくなる。

【 0 0 5 4 】

更に、軟磁性層間層 2 8 の持つ磁性により、第 2 軟磁性層 2 3、第 1 上層 2 2 b および第 1 下層 2 2 a の磁化 M_f の向きが一体的に変化するようにしたので、軟磁性層全体（第 1 軟磁性層 2 2、第 2 軟磁性層 2 3 および軟磁性層間層 2 8）の保磁力 H_c が小さく抑えられる。このように保磁力 H_c が小さく抑えられるため、特に高い繰り返し精度が得られる。

【 0 0 5 5 】

< M R 素子および薄膜磁気ヘッドの製造方法 >

続いて、図 9 ないし図 1 4 を参照して、M R 素子 1 1 0 および薄膜磁気ヘッド 1 0 0 の製造方法について説明する。なお、図 9、図 1 3 および図 1 4 は、図 4 における V - V 線に沿った断面構造を表している。また、図 1 0 ないし図 1 2 は、図 4 における V I - V I 線に沿った断面構造を表している。

【 0 0 5 6 】

本実施の形態に係る製造方法では、まず、図 9 に示したように、例えば、 $Al_2O_3 \cdot TiC$ よりなる基体 2 1 1 の一側面上に、スパッタリング法により、 Al_2O_3 よりなる絶縁層 1 1 を約 $2 \mu m \sim 10 \mu m$ の厚さで堆積させる。次に、この絶縁層 1 1 の上に、例えば、めっき法により、磁性材料よりなる下部シールド層 1 2 を $1 \mu m \sim 3 \mu m$ の厚さで形成する。続いて、この下部シールド層 1 2 の上に、例えば、スパッタリング法により、 Al_2O_3 または AlN よりなる下部シールドギャップ層 1 3 を $10 nm \sim 100 nm$ の厚さで堆積させる。そののち、この下部シールドギャップ層 1 3 の上に、積層体 2 0 を形成する。

【 0 0 5 7 】

ここで、積層体 2 0 の形成工程について詳説する。ここでは、まず、図 1 0 (A) に示したように、下部シールドギャップ層 1 3 の上に、例えば、スパッタリング法により、下地層 2 1 および第 1 下層 2 2 a を構成の欄で説明した材料を用いて順次成膜する。なお、この工程は、例えば図示しない真空チャンバの中で、到達圧力 $10^{-10} \sim 10^{-8} \text{ Torr}$ 、成膜圧力 $10^{-5} \sim 10^{-2} \text{ Torr}$ 程度の真空のもとで行われる。

【 0 0 5 8 】

次いで、例えば、図示しない真空チャンバ内に酸素ガスおよび窒素ガスのうちの少なくとも一方を導入し、真空度が $0.0001\text{ Torr} \sim 760\text{ Torr}$ 程度となるようにする。そののち、例えば、このままこの酸素および窒素のうちの少なくとも一方を含む雰囲気中に第1下層22aの表面を $0.01\text{分} \sim 60\text{分}$ 間さらす。これにより、例えば、図10(B)に示したように、第1下層22aの表面が酸化、窒化、または酸化および窒化され、良好な軟磁性層間層28が容易に成膜される。この軟磁性層間層28の形成に伴い、第1下層22aの厚さは最初に成膜した状態よりも薄くなる。なお、この酸化、窒化あるいは酸化窒化工程においては、真空チャンバ内の真空度を $0.001\text{ Torr} \sim 200\text{ Torr}$ とすればより好ましく、第1下層22aの表面をさらす時間を $0.1\text{分} \sim 30\text{分}$ 間とすればより好ましい。膜厚の制御を容易にすることができ、良好な軟磁性層間層28を容易に得ることができるからである。

【 0 0 5 9 】

軟磁性層間層28を形成したのち、図10(C)に示したように、例えば、図示しない真空チャンバ内を再び減圧して高真空にし、スパッタリング法により、軟磁性層間層28の上に第1上層22b、第2軟磁性層23、非磁性層24、強磁性層25、反強磁性層26および保護層27を構成の欄で説明した材料を用いて順次成膜する。その際、反強磁性層26を非熱処理系反強磁性材料により構成する場合には、例えば、y方向に磁場を印加した状態で反強磁性層26を形成する。これにより、強磁性層25の磁化の方向は、反強磁性層26との交換結合によって印加磁場の方向yに固定される。

【 0 0 6 0 】

そののち、図11(A)に示したように、例えば、保護層27の上に、積層体20の形成予定領域に対応してフォトレジスト膜401を選択的に形成する。なお、このフォトレジスト膜401は、後述するリフトオフを容易に行うことができるように、例えば、保護膜27との界面に溝を形成し、断面形状をT型とすることが好ましい。

【 0 0 6 1 】

フォトレジスト膜 4 0 1 を形成したのち、図 1 1 (B) に示したように、例えば、イオンミリング法により、フォトレジスト膜 4 0 1 をマスクとして保護層 2 7 , 反強磁性層 2 6 , 強磁性層 2 5 , 非磁性層 2 4 , 第 2 軟磁性層 2 3 , 第 1 上層 2 2 b , 軟磁性層間層 2 8 , 第 1 下層 2 2 a および下地層 2 1 を順次エッチングし、選択的に除去する。これにより、下地層 2 1 から保護層 2 7 までの各層がそれぞれ成形され、積層体 2 0 が形成される。

【 0 0 6 2 】

積層体 2 0 を形成したのち、図 1 2 (A) に示したように、例えば、スパッタリング法により、積層体 2 0 の両側に、磁区制御用強磁性膜 3 1 a , 3 1 b および磁区制御用反強磁性膜 3 2 a , 3 2 b をそれぞれ順次形成する。その際、磁区制御用反強磁性膜 3 2 a , 3 2 b を非熱処理系反強磁性材料により構成する場合には、例えば、x 方向に磁場を印加した状態で磁区制御用反強磁性膜 3 2 a , 3 2 b をそれぞれ形成する。これにより、磁区制御用強磁性膜 3 1 a , 3 1 b の磁化の方向は、磁区制御用反強磁性膜 3 2 a , 3 2 b との交換結合によって印加磁場の方向 x に固定される。

【 0 0 6 3 】

なお、磁区制御用強磁性膜 3 1 a , 3 1 b と磁区制御用反強磁性膜 3 2 a , 3 2 b を形成するのに代えて、TiW/CrPt, TiW/CrPt のような硬磁性材料（ハードマグネット）を例えばスパッタにより形成しても良い。

【 0 0 6 4 】

磁区制御膜 3 0 a , 3 0 b をそれぞれ形成したのち、同じく図 1 2 (A) に示したように、例えば、スパッタリング法により、磁区制御用反強磁性膜 3 2 a , 3 2 b の上に、リード層 3 3 a , 3 3 b をそれぞれ形成する。そののち、例えば、リフトオフ処理によって、フォトレジスト膜 4 0 1 とその上に積層されている堆積物 4 0 2 （磁区制御用強磁性膜、磁区制御用反強磁性膜およびリード層の各材料）を除去する。

【 0 0 6 5 】

リフトオフ処理を行ったのち、図 1 2 (B) および図 1 3 (A) に示したよう

に、例えば、スパッタリング法により、下部シールドギャップ層 1 3 および積層体 2 0 を覆うように、A l N 等の絶縁膜からなる上部シールドギャップ層 1 4 を 1 0 n m ~ 1 0 0 n m 程度の厚さで形成する。これにより、積層体 2 0 は下部シールドギャップ層 1 3 と上部シールドギャップ層 1 4 との間に埋設される。そののち、上部シールドギャップ層 1 4 の上に、例えば、スパッタリング法により、磁性材料よりなる上部シールド層 1 5 を約 1 μ m ~ 4 μ m の厚さで形成する。

【 0 0 6 6 】

上部シールド層 1 5 を形成したのち、図 1 3 (B) に示したように、例えば、スパッタリング法により、上部シールド層 1 5 の上に、絶縁膜よりなる記録ギャップ層 4 1 を 0 . 1 μ m ~ 0 . 5 μ m の厚さで形成し、この記録ギャップ層 4 1 の上に、フォトレジスト層 4 2 を約 1 . 0 μ m ~ 2 . 0 μ m の膜厚で所定のパターンに形成する。フォトレジスト層 4 2 を形成したのち、このフォトレジスト層 4 2 の上に、薄膜コイル 4 3 を 1 μ m ~ 3 μ m の膜厚で形成し、この薄膜コイル 4 3 を覆うようにフォトレジスト層 4 4 を所定のパターンに形成する。フォトレジスト層 4 4 を形成したのち、このフォトレジスト層 4 4 の上に、薄膜コイル 4 5 を 1 μ m ~ 3 μ m の膜厚で形成し、この薄膜コイル 4 5 を覆うようにフォトレジスト層 4 6 を所定のパターンに形成する。

【 0 0 6 7 】

フォトレジスト層 4 6 を形成したのち、図 1 4 (A) に示したように、例えば、薄膜コイル 4 3 , 4 5 の中心部に対応する位置において、記録ギャップ層 4 1 を部分的にエッチングし、磁路形成のための開口部 4 1 a を形成する。そののち、例えば、記録ギャップ層 4 1 、開口部 4 1 a 、フォトレジスト層 4 2 , 4 4 , 4 6 を覆うように高飽和磁束密度を有する磁性材料よりなる上部磁極 4 7 を約 3 μ m の厚さで形成する。上部磁極 4 7 を形成したのち、例えば、この上部磁極 4 7 をマスクとして、イオンミリングにより、記録ギャップ層 4 1 および上部シールド層 1 5 を選択的にエッチングする。そののち、図 1 4 (B) に示したように、上部磁極 4 7 の上に、アルミナよりなるオーバーコート層 4 8 を 2 0 μ m ~ 3 0 μ m の膜厚で形成する。

【 0 0 6 8 】

オーバーコート層 4 8 を形成したのち、例えば、積層体 2 0 の強磁性層 2 5 および磁区制御用強磁性膜 3 1 a , 3 1 b を熱処理系反強磁性材料によりそれぞれ構成する場合には、それらの磁界の方向を固定するための反強磁性化処理を行う。具体的には、反強磁性層 2 6 と強磁性層 2 5 とのブロッキング温度（界面で交換結合が生じうる温度）が磁区制御用反強磁性膜 3 2 a , 3 2 b と磁区制御用強磁性膜 3 1 a , 3 1 b とのブロッキング温度よりも高い場合には、磁界発生装置等を利用して例えば y 方向に磁場を印加した状態で、薄膜磁気ヘッド 1 0 0 を反強磁性層 2 6 と強磁性層 2 5 とのブロッキング温度まで加熱する。これにより、強磁性層 2 5 の磁化の方向は、反強磁性層 2 6 との交換結合によって印加磁場の方向 y に固定される。続いて、薄膜磁気ヘッド 1 0 0 を磁区制御用反強磁性膜 3 2 a , 3 2 b と磁区制御用強磁性膜 3 1 a , 3 1 b とのブロッキング温度まで冷却し、例えば x 方向に磁場を印加する。これにより、磁区制御用強磁性膜 3 1 a , 3 1 b の磁化の方向は、磁区制御用反強磁性膜 3 2 a , 3 2 b との交換結合によって印加磁場の方向 x にそれぞれ固定される。

【 0 0 6 9 】

なお、反強磁性層 2 6 と強磁性層 2 5 とのブロッキング温度が磁区制御用反強磁性膜 3 2 a , 3 2 b と磁区制御用強磁性膜 3 1 a , 3 1 b とのブロッキング温度よりも低い場合には、上の作業順序は逆になる。また、反強磁性層 2 6 または磁区制御用反強磁性膜 3 2 a , 3 2 b を非熱処理系反強磁性材料により構成する場合には、この熱処理を行う必要がない。更に、ここではオーバーコート層 4 8 を形成したのちに反強磁性化のための熱処理を行うようにしたが、強磁性層 2 5 および反強磁性層 2 6 を成膜したのちオーバーコート層 4 8 を形成する前に行うようにしてもよく、また磁区制御膜 3 0 a , 3 0 b を成膜したのちオーバーコート層 4 8 を形成する前に行うようにしてもよい。ちなみに、反強磁性層 2 6 と磁区制御用反強磁性層 3 2 a , 3 2 b との反強磁性材料の組み合わせは、熱処理系と非熱処理系との組み合わせのうちのいずれでもよい。

【 0 0 7 0 】

最後に、例えば、スライダの機械加工により、エアベアリング面を形成し、図

3 ないし図 7 に示した薄膜磁気ヘッド 1 0 0 が完成する。

【 0 0 7 1 】

< 第 1 の実施の形態による効果 >

このように本実施の形態によれば、軟磁性層の中に磁性を有し且つ軟磁性層よりも電気抵抗が大きい軟磁性層間層 2 8 を設けるようにしたので、電子 e の通路が狭くなり、積層体 2 0 の抵抗変化率を大きくすることができ、小さな信号磁界であっても検出することができる。また、第 2 軟磁性層 2 3、第 1 上層 2 2 b および第 1 下層 2 2 a の磁化 M_f の向きを一体的に変化させることができ、保磁力 H_c を小さく抑えることができる。よって、出力変動が小さく高い繰り返し精度を得ることができる。以上のことから、例えば 20 Gbit/inch^2 を越える高密度磁気記録への対応が可能となる。また、熱安定性も高く、製造工程中に熱処理工程が含まれていても特性の劣化が少なく、大きな抵抗変化率を得ることができる。

【 0 0 7 2 】

特に、本実施の形態では第 1 軟磁性層 2 2 の中に軟磁性層間層 2 8 を設けるようにしたので、保磁力 H_c をより小さくすることができる。

【 0 0 7 3 】

また、軟磁性層の厚さ T_n に対する非磁性層 2 4 と軟磁性層間層 2 8 との間の距離 D_1 の比 D_1 / T_n を 0.3 以上 1 未満となるようにすれば、また、非磁性層 2 4 と軟磁性層間層 2 8 との間の距離 D_1 を 1 nm 以上 8 nm 未満とするようにすれば、電子の移動範囲を狭くし過ぎることなく効果的に制限することができ、より大きな抵抗変化率を得ることができる。

【 0 0 7 4 】

更に、軟磁性層間層 2 8 が酸化物、窒化物および酸化窒化物のうちの少なくとも 1 種を含むようにすれば、磁氣的に安定させることができ、出力変動を少なくすることができる。よって、安定した特性を得ることができる。

【 0 0 7 5 】

加えて、軟磁性層間層 2 8 の厚さを 0.5 nm 以上 1.0 nm 以下とするようにすれば、電子の移動経路を効果的に制限することができ、より大きな抵抗変化

率を得ることができると共に、保磁力 H_c をより小さくすることができる。

【 0 0 7 6 】

更にまた、軟磁性層の一部を酸化、窒化、または酸化および窒化することにより軟磁性層間層 2 8 を形成するようにすれば、良好な軟磁性層間層 2 8 を容易に得ることができる。すなわち、本実施の形態に係る M R 素子および薄膜磁気ヘッドを容易に製造することができる。

【 0 0 7 7 】

[第 1 の実施の形態の変形例]

また、図 1 5 および図 1 6 を参照して、第 1 の実施の形態に関する変形例について説明する。

【 0 0 7 8 】

図 1 5 は、変形例における積層体 2 0 の構成を表すものである。第 1 の実施の形態では、積層体 2 0 の軟磁性層間層 2 8 を第 1 軟磁性層 2 2 の中に設ける場合について説明したが、この変形例のように、第 1 軟磁性層 2 2 と第 2 軟磁性層 2 3 との間に軟磁性層間層 2 8 を設けるようにしてもよい。この場合、軟磁性層間層 2 8 は、例えば、第 1 軟磁性層 2 2 を構成する材料および第 2 軟磁性層 2 3 を構成する材料よりも電気抵抗が大きい材料で構成されることにより、第 1 軟磁性層 2 2 および第 2 軟磁性層 2 3 よりも大きな電気抵抗を有するように構成されている。この変形例における軟磁性層の厚さ T_n は、第 1 軟磁性層 2 2 の厚さ T_{n1} と、第 2 軟磁性層 2 3 の厚さ T_{n2} とを加算した値であり、非磁性層 2 4 と軟磁性層間層 2 8 との間の距離 D_1 は、第 2 軟磁性層 2 3 の厚さ T_{n2} と同じである。

【 0 0 7 9 】

また、この軟磁性層間層 2 8 は、例えば、第 1 の実施の形態と同様に、第 1 軟磁性層 2 2 と構成元素の一部が共通していてもよいが、第 2 の軟磁性層 2 3 と構成元素の一部が共通していてもよい。すなわち、Ni, Co, Fe, Ta, Cr, Rh, Mo および Nb からなる群のうちの少なくとも Ni と、O および N からなる群のうちの少なくとも 1 種とを含むように構成されてもよいが、Co および Fe からなる群のうちの少なくとも Co と、O および N からなる群のうちの少なくとも 1 種とを含むように構成されていてもよい。第 2 軟磁性層 2 3 の一部を例

えば酸化、窒化あるいは酸化および窒化するようにしても良好な軟磁性層間層 28 を容易に得ることができるからである。

【 0 0 8 0 】

なお、この変形例によれば、第 1 の実施の形態に比べて保磁力は若干大きくなるものの、抵抗変化率をより大きくすることができる。

【 0 0 8 1 】

図 16 は、他の変形例における積層体 20 の構成を表すものである。この変形例のように、第 2 軟磁性層 23 の中に軟磁性層間層 28 を設けるようにしてもよい。すなわち、第 2 軟磁性層 23 を積層方向において第 2 下層 23 a と第 2 上層 23 b とに分割し、これら第 2 下層 23 a と第 2 上層 23 b との間に軟磁性層間層 28 を設けるようにしてもよい。この場合、軟磁性層間層 28 は、例えば、第 2 軟磁性層 23 を構成する材料よりも電気抵抗が大きい材料で構成されることにより、第 2 軟磁性層 23 よりも大きな電気抵抗を有するように構成されている。この変形例における軟磁性層の厚さ T_n は、第 1 軟磁性層 22 の厚さ T_{n1} と、第 2 下層 23 a の厚さ T_{n2a} と、第 2 上層 23 b の厚さ T_{n2b} とを加算した値であり、非磁性層 24 と軟磁性層間層 28 との間の距離 D_1 は、第 2 上層 23 b の厚さ T_{n2b} と同じである。また、この軟磁性層間層 28 は、例えば、第 2 軟磁性層 23 と構成元素の一部が共通していることが好ましく、すなわち、C o および F e からなる群のうちの少なくとも C o と、O および N からなる群のうちの少なくとも 1 種とを含むように構成されることが好ましい。第 2 軟磁性層 23 の一部を例えば酸化、窒化あるいは酸化および窒化することにより良好な軟磁性層間層 28 を容易に得ることができるからである。

【 0 0 8 2 】

なお、この変形例によれば、第 1 の実施の形態および先の変形例に比べて保磁力は大きくなるものの、抵抗変化率を更に大きくすることができる。

【 0 0 8 3 】

[第 2 の実施の形態]

更に、本発明の第 2 の実施の形態について図面を参照して説明する。本実施の形態は、積層体 50 の構成が異なることを除き、第 1 の実施の形態と同一の構成

を有している。よって、ここでは、同一の構成要素には同一の符号を付し、その詳細な説明を省略する。

【 0 0 8 4 】

図 1 7 は、本実施の形態における積層体 5 0 の構成を表すものである。この積層体 5 0 は、第 1 の実施の形態における軟磁性層間層 2 8 に代えて、強磁性層 5 5 の中に強磁性層間層 5 9 を備えると共に、第 1 軟磁性層 2 2 が分割されていないことを除き、第 1 の実施の形態における積層体 2 0 と同一の構成を有している。強磁性層 5 5 は、積層方向において強磁性下層 5 5 a と強磁性上層 5 5 b とに分割されており、この強磁性下層 5 5 a と強磁性上層 5 5 b との間に強磁性層間層 5 9 が設けられている。なお、強磁性層 5 5 は強磁性層間層 5 9 によって分割されているが、強磁性層間層 5 9 は後述するように磁性を有しているので、強磁性下層 5 5 a および強磁性上層 5 5 b のそれぞれの磁化 M_p の向きは反強磁性層 2 6 により第 1 の実施の形態と同一方向にそれぞれ固定されている。なお、強磁性層間層 5 9 の磁化の向きも、反強磁性層 2 6 により強磁性層 5 5 の磁化 M_p の向きと同一方向に固定されている。

【 0 0 8 5 】

強磁性層間層 5 9 は、第 1 の実施の形態における軟磁性層間層 2 8 と同様に、検出電流が積層体 5 0 を流れる際に、電子 e の少なくとも一部を反射して電子 e の移動する経路を制限することにより、積層体 5 0 の抵抗変化率を大きくするためのものである。この強磁性層間層 5 9 は、磁性を有し且つ強磁性層 5 5 よりも大きな電気抵抗を有するように構成されており、例えば、第 1 の実施の形態における軟磁性層間層 2 8 と同様に、強磁性層 5 5 を構成する材料よりも電気抵抗が大きな材料により構成されている。例えば、この強磁性層間層 5 9 は、酸化物、窒化物および酸化窒化物のうちの少なくとも 1 種を含むことが好ましく、また、強磁性層 5 5 と構成元素の一部が共通していることが好ましい。具体的には、 Co および Fe からなる群のうちの少なくとも Co と、 O および N からなる群のうちの少なくとも 1 種とを含むことが好ましい。強磁性層 5 5 の一部を例えば酸化、窒化あるいは酸化窒化することにより、良好な強磁性層間層 5 9 を容易に得ることができるからである。

【 0 0 8 6 】

強磁性層間層 5 9 の厚さ T_{t2} は、例えば、第 1 の実施の形態における軟磁性層間層 2 8 と同様に、 0.5 nm 以上 1.0 nm 以下であることが好ましい。厚すぎると強磁性層 5 5 と反強磁性層 2 6 との間の交換結合磁界について十分な値を得ることができず、薄すぎると電子の移動経路を十分に制限することができず、大きな抵抗変化率を得ることができないからである。強磁性層間層 5 9 の位置、例えば強磁性層間層 5 9 と非磁性層 2 4 との間の距離 D_2 は、強磁性層 5 5 の厚さを T_k とすると、 $0.2 T_k \leq D_2 \leq 0.8 T_k$ の範囲内であることが好ましい。なお、本実施の形態における強磁性層 5 5 の厚さ T_k は、強磁性下層 5 5 a の厚さ T_{ka} と、強磁性上層 5 5 b の厚さ T_{kb} とを加算した値であり、強磁性層間層 5 9 と非磁性層 2 4 との間の距離 D_2 は、強磁性下層 5 5 a の厚さ T_{ka} と同じである。また、強磁性層間層 5 9 と非磁性層 2 4 との間の距離 D_2 は、具体的な数値で表すと、 0.6 nm 以上 3.6 nm 以下の範囲内であることが好ましい。これらの範囲内において電子 e の移動範囲を狭くし過ぎることなく効果的に制限することができ、十分な大きさの交換結合磁界 H_{ex} を得ると同時に、大きな抵抗変化率を得ることができるからである。

【 0 0 8 7 】

この積層体 5 0 は、第 1 の実施の形態と同様にして製造することができる。その際、例えば、第 1 の実施の形態における軟磁性層間層 2 8 と同様にして強磁性層間層 5 9 を成膜する。すなわち、強磁性下層 5 5 a を成膜したのち、図示しない真空チャンバ内に酸素ガスおよび窒素ガスのうちの少なくとも一方を導入して、酸素および窒素のうちの少なくとも一方を含む雰囲気中に強磁性下層 5 5 a の表面をさらし、強磁性下層 5 5 a の表面を酸化あるいは窒化あるいは酸化および窒化することにより強磁性層間層 5 9 を成膜する。

【 0 0 8 8 】

また、本実施の形態では、第 1 の実施の形態と同様にして、磁気記録媒体 3 0 0 に記録された情報を読み出す。但し、ここでは、強磁性層 5 5 の中に強磁性層 5 5 よりも大きな電気抵抗を有する強磁性層間層 5 9 が設けられているので、検出電流が積層体 5 0 を流れる際に、強磁性層 5 5 から強磁性層間層 5 9 に移動し

ようとする電子eの少なくとも一部は、強磁性層間層59の表面で反射される。これにより、電子eの通路が狭められ、第1の実施の形態と同様に、積層体50の抵抗変化率が大きくなる。

【0089】

このように本実施の形態によれば、強磁性層間層59と非磁性層24との間の距離 D_2 と強磁性層55の厚さを T_k との比 D_2 / T_k が0.2以上0.8以下の位置に強磁性層間層59を設けるようにしたので、または、強磁性層間層59と非磁性層24との間の距離 D_2 が0.6nm以上3.6nm以下の位置に強磁性層間層59を設けるようにしたので、積層体50の抵抗変化率を大きくすることができると共に、反強磁性層26と強磁性層55との間の交換結合磁界について十分な大きさを得ることができる。また、熱安定性も高く、製造工程中に熱処理工程が含まれていても大きな抵抗変化率を得ることができる。

【0090】

また、強磁性層間層59が酸化物、窒化物および酸化窒化物のうちの少なくとも1種を含むようにすれば、第1の実施の形態と同様に、出力変動を少なくすることができ、安定した特性を得ることができる。

【0091】

更に、強磁性層間層59の厚さを0.5nm以上1.0nm以下とするようにすれば、第1の実施の形態と同様に、より大きな抵抗変化率を得ることができると共に、反強磁性層26と強磁性層55との間の交換結合磁界について十分な大きさを得ることができる。

【0092】

加えて、強磁性層55の一部を酸化、窒化、あるいは酸化および窒化することにより強磁性層間層59を形成するようにすれば、第1の実施の形態と同様に、良好な強磁性層間層59を容易に得ることができる。

【0093】

[第3の実施の形態]

加えて、本発明の第3の実施の形態について図面を参照して説明する。本実施の形態は、積層体60の構成が異なることを除き、第1の実施の形態と同一の構

成を有している。よって、ここでは、同一の構成要素には同一の符号を付し、その詳細な説明を省略する。

【 0 0 9 4 】

図 1 8 は、本実施の形態における積層体 6 0 の構成を表すものである。この積層体 6 0 は、強磁性層 6 5 の中に強磁性層間層 6 9 を更に備えていることを除き、第 1 の実施の形態における積層体 2 0 と同一の構成を有している。なお、これら強磁性層 6 5 および強磁性層間層 6 9 は、第 2 の実施の形態における強磁性層 5 5 および強磁性層間層 5 9 と同一の構成をそれぞれ有するものである。すなわち、本実施の形態では、検出電流が積層体 6 0 を流れる際に、電子 e の経路が軟磁性層間層 2 8 と強磁性層間層 6 9 とによりそれぞれ狭められることにより、積層体 6 0 の抵抗変化率が大きくなるようになっている。

【 0 0 9 5 】

このように本実施の形態によれば、軟磁性層の中に軟磁性層間層 2 8 を設けると共に、強磁性層 6 5 の中に強磁性層間層 6 9 を設けるようにしたので、第 1 の実施の形態および第 2 の実施の形態よりも、更に大きな抵抗変化率を得ることができる。

【 0 0 9 6 】

【実施例】

また、本発明の具体的な実施例について詳細に説明する。

【 0 0 9 7 】

[実施例 1 ～ 1 0]

実施例 1 ～ 1 0 として、絶縁性基板の上に、図 7 に示したように、下地層 2 1，第 1 下層 2 2 a，軟磁性層間層 2 8，第 1 上層 2 2 b，第 2 軟磁性層 2 3，非磁性層 2 4，強磁性層 2 5，反強磁性層 2 6 および保護層 2 7 を順次積層した積層体 2 0 をそれぞれ作製した。まず、絶縁性基板の上に、スパッタリング法により、Ta を用いて厚さ 5 nm の下地層 2 1 をそれぞれ成膜し、その上に、NiFe を用いて実施例により厚さを変化させて第 1 下層 2 2 a をそれぞれ成膜した。なお、その際、後続の酸化処理により酸化される分を予め加味して第 1 下層 2 2 a を成膜し、後続の酸化処理後に第 1 下層 2 2 a の厚さ T_{n1a} が表 1 に示した値

となるようにした。

【 0 0 9 8 】

【表 1】

		厚さ(nm)				軟磁性層 間層と非磁 性層との間の 距離 D_1	D_1/T_n	反強磁 性層
		第1下層 T_{n1a}	軟磁性 層間層 T_{t1}	第1上層 T_{n1b}	軟磁性層 T_n			
実施例	1	4	0.6	1	6	2	0.33	RuRhMn
	2	3	0.6	2	6	3	0.50	RuRhMn
	3	2	0.6	3	6	4	0.67	RuRhMn
	4	1	0.6	4	6	5	0.83	RuRhMn
	5	2.5	0.6	0.5	4	1.5	0.38	RuRhMn
	6	2	0.6	1	4	2	0.50	RuRhMn
	7	3	0.6	2	6	3	0.50	RuIrMn
	8	2	0.6	3	6	4	0.67	RuIrMn
	9	3	0.6	2	6	3	0.50	PtMn
	10	2	0.6	3	6	4	0.67	PtMn
	11	2	0.4	3	6	4	0.67	PtMn
	12	2	0.5	3	6	4	0.67	PtMn
	13	2	0.9	3	6	4	0.67	PtMn
	14	2	1.1	3	6	4	0.67	PtMn
比較例	1	0	0	5	6	—	—	RuRhMn
	2	0	0.6	5	6	6	1.00	RuRhMn

【 0 0 9 9 】

次いで、第1下層22aの表面を酸化し、厚さ T_{t1} が0.6nmの軟磁性層間層28をそれぞれ形成した。続いて、軟磁性層間層28の上に、スパッタリング法により、NiFeを用いて表1に示したように厚さ T_{n1b} を変化させて第1上層22bをそれぞれ成膜した。そののち、第1上層22bの上に、スパッタリング法により、CoFeを用いて厚さ T_{n2} が1nmの第2軟磁性層23をそれぞれ

成膜し、その上に、Cuを用いて厚さ2.2nmの非磁性層24をそれぞれ成膜し、その上に、CoFeを用いて厚さ2nmの強磁性層25をそれぞれ成膜し、その上に、表1に示したように材料を変化させて厚さ13nmの反強磁性層26をそれぞれ成膜し、その上に、Taを用いて厚さ5nmの保護層27をそれぞれ成膜した。なお、実施例1～8においては、非熱処理系反強磁性材料を用いて反強磁性層26を形成するようにしたので、磁場を印加しながら反強磁性層26をそれぞれ成膜した。また、実施例9, 10においては、熱処理系反強磁性材料を用いて反強磁性層26を形成するようにしたので、成膜ののち熱処理により反強磁性処理をそれぞれ行った。

【0100】

作製した積層体20における軟磁性層の厚さ T_n 、軟磁性層間層28と非磁性層24との間の距離 D_1 、および軟磁性層の厚さ T_n に対する軟磁性層間層28と非磁性層24との間の距離 D_1 の比 D_1 / T_n は、それぞれ表1に示した通りである。ちなみに、実施例1～4, 7～10は、第1軟磁性層22の厚さ T_{n1} を5nmとし、その中で軟磁性層間層28の位置を変えたものである。実施例5, 6は、第1軟磁性層22の厚さ T_{n1} を3nmと薄くし、その中で軟磁性層間層28の位置を変えたものである。

【0101】

このようにして作製した積層体20について250℃における熱処理をそれぞれ行った。そののち、積層体20に電流を流しつつ磁界を与えてその特性をそれぞれ調べた。それらの結果を表2にそれぞれ示す。また、その磁化の相対性から軟磁性層間層28の厚さ T_{t1} を算出したところ、約0.6nmであることがそれぞれ確認された。更に、透過型電子顕微鏡(TEM; Transmission Electron Microscope)により軟磁性層間層28の厚さ T_{t1} を観察したところ、同様に約0.6nmであることがそれぞれ確認された。

【 0 1 0 2 】

【 表 2 】

		抵抗 変化率 (%)	抵抗の 変化量 ΔR (Ω)	積層体の 抵抗 R (Ω)	交換結 合磁界 (Oe)	保磁力 H_c (Oe)
実施例	1	8.2	1.4	17	540	0.5
	2	8.9	1.5	17	550	0.2
	3	9.5	1.6	17	550	0.2
	4	8.5	1.4	17	560	0.2
	5	9.2	1.7	18	540	0.8
	6	10.5	1.9	18	530	0.5
	7	9.0	1.5	17	500	0.6
	8	9.2	1.6	17	540	0.4
	9	9.7	1.6	17	720	0.5
	10	10.0	1.6	16	730	0.4
	11	8.0	1.3	16	700	0.2
	12	9.6	1.6	17	740	0.2
	13	9.5	1.6	17	750	0.9
	14	8.3	1.4	17	730	1.9
比較例	1	6.9	1.0	15	550	0.1
	2	7.0	1.2	17	560	1.5

【 0 1 0 3 】

本実施例に対する比較例 1 として、軟磁性層間層を形成せず、第 1 軟磁性層の厚さ T_{n1} を 5 nm としたことを除き、実施例 1 ～ 4 と同一の条件で積層体を作製した。また、比較例 2 として、下地層と第 1 軟磁性層との間に軟磁性層間層を形成し、第 1 軟磁性層の厚さ T_{n1} を 5 nm としたことを除き、実施例 1 ～ 4 と同一の条件で積層体を作製した。これらの比較例についても、本実施例と同様にしてその特性をそれぞれ調べた。それらの結果も表 2 にそれぞれ合わせて示す。

【 0 1 0 4 】

表 2 から分かるように、本実施例によれば積層体 2 0 の抵抗変化率はいずれも 8 % 以上であり、比較例 1 の 6 . 9 % および比較例 2 の 7 . 0 % よりも大きな値を得ることができた。また、第 1 軟磁性層 2 2 および第 2 軟磁性層 2 3 の保磁力 H_c はいずれも 0 . 2 (O e) ~ 0 . 8 (O e) であり、スピバルブ型の M R 素子において許容限界とされる 3 (O e) よりも十分に小さく抑えることができ、従来例である比較例 1 と同程度の値を得ることができた。更に、交換結合磁界 H_{ex} はいずれも 5 3 0 (O e) 以上であり、一般にスピバルブ型の M R 素子で最低限必要とされる 2 0 0 (O e) よりも十分に大きな値が得られた。すなわち、第 1 軟磁性層 2 2 の中に軟磁性層間層 2 8 を設けるようにすれば、保磁力 H_c を小さく抑えつつ抵抗変化率を大きくできることが分かった。

【 0 1 0 5 】

また、軟磁性層の厚さ T_n に対する軟磁性層間層 2 8 と非磁性層 2 4 との間の距離 D_1 の比 D_1 / T_n が 0 . 5 ~ 0 . 8 の範囲内において最も抵抗変化率が大きくなり、保磁力 H_c も小さくなる傾向が見られた。更に、 D_1 / T_n があまり小さくなると抵抗変化率が若干小さくなり、保磁力 H_c も若干大きくなる傾向も見られた。すなわち、 D_1 / T_n が 0 . 3 以上 1 未満の位置に軟磁性層間層 2 8 を設けるようにすれば、保磁力 H_c をより小さく抑えつつ抵抗変化率をより大きくできることが分かった。

【 0 1 0 6 】

[実施例 1 1 ~ 1 4]

実施例 1 1 ~ 1 4 として、軟磁性層間層 2 8 の厚さ T_{t1} を表 1 に示したように変化させたことを除き、実施例 1 0 と同一の条件で積層体 2 0 をそれぞれ作製した。これらの積層体 2 0 についても、実施例 1 0 と同様にしてその特性をそれぞれ調べた。それらの結果を表 2 にそれぞれ示す。

【 0 1 0 7 】

表 2 から分かるように、軟磁性層間層 2 8 の厚さ T_{t1} を 0 . 6 n m とした実施例 1 0 において最も大きな抵抗変化率が得られ、厚さ T_{t1} が薄くなっても厚くなっても抵抗変化率が小さくなる傾向が見られた。また、軟磁性層間層 2 8 の厚さ

T_{t1} が厚くなると保磁力 H_c が大きくなる傾向が見られた。すなわち、軟磁性層間層 28 の厚さ T_{t1} を 0.5 nm 以上 1 nm 以下とすれば、保磁力 H_c を小さく抑えつつ抵抗変化率をより大きくできることが分かった。

【 0 1 0 8 】

[実施例 15 ～ 24]

実施例 15 ～ 24 として、軟磁性層間層 28 を第 1 軟磁性層 22 と第 2 軟磁性層 23 との間に形成すると共に、第 1 軟磁性層 22 の厚さ T_{n1} 、第 2 軟磁性層 23 の厚さ T_{n2} および反強磁性層 26 の材料を表 3 に示したようにそれぞれ変化させたことを除き、実施例 1 ～ 10 と同一の条件で積層体 20 をそれぞれ作製した。作製した積層体 20 における軟磁性層の厚さ T_n 、軟磁性層間層 28 と非磁性層 24 との間の距離 D_1 、および軟磁性層の厚さ T_n に対する軟磁性層間層 28 と非磁性層 24 との間の距離 D_1 の比 D_1 / T_n は、それぞれ表 3 に示した通りである。

【 0 1 0 9 】

【表 3】

		厚さ (nm)				軟磁性層 間層と非磁 性層との間の 距離 D_1	D_1 / T_n	反強磁 性層
		第1軟磁 性層 T_{n1}	軟磁性 層間層 T_{11}	第2軟磁 性層 T_{n2}	軟磁性層 T_n			
実施例	15	4	0.6	2	6	2	0.33	RuRhMn
	16	3	0.6	3	6	3	0.50	RuRhMn
	17	2	0.6	4	6	4	0.67	RuRhMn
	18	1	0.6	5	6	5	0.83	RuRhMn
	19	2	0.6	3	5	3	0.60	RuRhMn
	20	1	0.6	4	5	4	0.80	RuRhMn
	21	4	0.6	2	6	2	0.33	RuIrMn
	22	3	0.6	3	6	3	0.50	RuIrMn
	23	4	0.6	2	6	2	0.33	PtMn
	24	3	0.6	3	6	3	0.50	PtMn
	25	3	0.4	3	6	3	0.50	PtMn
	26	3	0.5	3	6	3	0.50	PtMn
	27	3	0.9	3	6	3	0.50	PtMn
	28	3	1.1	3	6	3	0.50	PtMn
	比較例	3	3	0	3	6	—	RuRhMn

【 0 1 1 0 】

ちなみに、実施例 15～18，21～24 は、軟磁性層の厚さ T_n を 6 nm とし、第 1 軟磁性層 22 の厚さ T_{n1} および第 2 軟磁性層 23 の厚さ T_{n2} を変えて軟磁性層間層 28 の位置を変えたものである。実施例 19，20 は、軟磁性層の厚さ T_n を 5 nm と薄くし、第 1 軟磁性層 22 の厚さ T_{n1} および第 2 軟磁性層 23 の厚さ T_{n2} を変えて軟磁性層間層 28 の位置を変えたものである。これらの積層体 20 についても、実施例 1～10 と同様にしてその特性をそれぞれ調べた。それらの結果を表 4 にそれぞれ示す。

【 0 1 1 1 】

【表 4】

		抵抗 変化率 (%)	抵抗の 変化量 ΔR (Ω)	積層体の 抵抗 R (Ω)	交換結 合磁界 (Oe)	保磁力 H_c (Oe)
実施例	15	9.8	1.7	17	540	1.5
	16	9.5	1.6	17	550	1.7
	17	9.0	1.5	17	560	2.0
	18	8.4	1.4	17	540	2.5
	19	10.2	1.7	17	560	2.2
	20	9.4	1.6	17	540	2.8
	21	9.6	1.6	17	510	1.6
	22	9.4	1.6	17	520	1.8
	23	10.5	1.7	16	710	0.9
	24	10.0	1.7	17	730	1.2
	25	8.2	1.3	16	710	1.0
	26	10.1	1.7	17	720	1.1
	27	8.7	1.5	17	740	1.3
	28	8.1	1.4	17	720	2.4
比較例	3	6.9	1.0	15	550	0.2

【 0 1 1 2 】

本実施例に対する比較例 3 として、軟磁性層間層を形成せず、第 1 軟磁性層の厚さ T_{n1} および第 2 軟磁性層の厚さ T_{n2} をそれぞれ 3 nm としたことを除き、実施例 15 ～ 18 と同一の条件で積層体を作製した。この比較例についても、本実施例と同様にしてその特性を調べた。その結果も表 4 に合わせて示す。

【 0 1 1 3 】

表 4 から分かるように、本実施例によれば積層体 20 の抵抗変化率はいずれも 8.4 % 以上であり、比較例 3 の 6.5 % よりも大きな値を得ることができた。また、第 1 軟磁性層 22 および第 2 軟磁性層 23 の保磁力 H_c はいずれもスピン

バルブ型のMR素子において許容限界とされる3 (Oe) よりも小さく抑えることができた。更に、交換結合磁界 H_{ex} はいずれも510 (Oe) 以上であり、一般にスピンバルブ型のMR素子で最低限必要とされる200 (Oe) よりも十分に大きな値が得られた。すなわち、第1軟磁性層22と第2軟磁性層23との間に軟磁性層間層28を設けるようにすれば、保磁力 H_c を小さく抑えつつ抵抗変化率を大きくできることが分かった。

【0114】

また、本実施例と実施例1～10とを比べると、本実施例の方が抵抗変化率を大きくできる傾向が見られた。但し、保磁力 H_c は実施例1～10に比べて小さくなってしまいう傾向が見られた。すなわち、第1軟磁性層22と第2軟磁性層23との間に軟磁性層間層28を設けるようにすれば、保磁力 H_c は若干大きくなるものの抵抗変化率をより大きくすることができ、第1軟磁性層22の間に軟磁性層間層28を設けるようにすれば、保磁力 H_c をより小さく抑えつつ抵抗変化率を大きくできることが分かった。

【0115】

[実施例25～28]

実施例25～28として、軟磁性層間層28の厚さ T_{t1} を表3に示したように変化させたことを除き、実施例24と同一の条件で積層体20をそれぞれ作製した。これらの積層体20についても、実施例24と同様にしてその特性をそれぞれ調べた。それらの結果を表4にそれぞれ示す。

【0116】

表4から分かるように、軟磁性層間層28の厚さ T_{t1} を0.5nmとした実施例26において最も大きな抵抗変化率が得られ、厚さ T_{t1} が薄くなっても厚くなっても抵抗変化率が小さくなる傾向が見られた。また、軟磁性層間層28の厚さ T_{t1} が厚くなると保磁力 H_c が大きくなる傾向が見られた。すなわち、軟磁性層間層28の厚さ T_{t1} を0.5nm以上1nm以下とすれば、保磁力 H_c を小さく抑えつつ抵抗変化率をより大きくできることが分かった。

【0117】

[実施例29～31]

実施例 29 として、第 1 下層 22a の厚さ T_{n1a} を 2 nm、第 1 上層 22b の厚さ T_{n1b} を 1 nm および第 2 軟磁性層 23 の厚さ T_{n2} を 2 nm としたことを除き、実施例 1 ～ 10 と同一の条件で積層体 20 を作製した。また、実施例 30 として、軟磁性層間層 28 を第 1 軟磁性層 22 と第 2 軟磁性層 23 との間に形成すると共に、第 1 軟磁性層 22 の厚さ T_{n1} を 2 nm、第 2 軟磁性層 23 の厚さ T_{n2} を 3 nm としたことを除き、実施例 1 ～ 10 と同一の条件で積層体 20 を作製した。更に、実施例 31 として、軟磁性層間層 28 を第 2 軟磁性層 23 の中に形成すると共に、第 1 軟磁性層 22 の厚さ T_{n1} を 2 nm、第 2 下層 23a の厚さ T_{n2a} を 1 nm、第 2 上層 23b の厚さ T_{n2b} を 2 nm としたことを除き、実施例 1 ～ 10 と同一の条件で積層体 20 を作製した。

【 0 1 1 8 】

すなわち、実施例 29 ～ 31 は、軟磁性層間層 28 の位置を第 1 軟磁性層 22 の中、第 1 軟磁性層 22 と第 2 軟磁性層 23 との間、あるいは第 2 軟磁性層 23 の中と変えたものである。作製した積層体 20 における軟磁性層の厚さ T_n 、軟磁性層間層 28 と非磁性層 24 との間の距離 D_1 、および軟磁性層の厚さ T_n に対する軟磁性層間層 28 と非磁性層 24 との間の距離 D_1 の比 D_1 / T_n は、それぞれ表 5 に示した通りである。これらの積層体 20 についても、実施例 1 ～ 10 と同様にしてその特性をそれぞれ調べた。それらの結果を表 6 にそれぞれ示す。

【 0 1 1 9 】

【表 5】

		軟磁性層間層 の位置	厚さ (nm)		軟磁性層 間層と非磁 性層との間の 距離 D_1	D_1 / T_n
			軟磁性 層間層 T_{n1}	軟磁性層 T_n		
実施例	29	第1軟磁性層中	0.6	5	3	0.6
	30	第1軟磁性層と 第2軟磁性層の間	0.6	5	3	0.6
	31	第2軟磁性層中	0.6	5	2	0.4
比較例	4	—	0	5	2	—

【 0 1 2 0 】

【表 6】

		抵抗 変化率 (%)	抵抗の 変化量 ΔR (Ω)	積層体の 抵抗 R (Ω)	交換結 合磁界 (Oe)	保磁力 H_c (Oe)
実施例	29	9.5	1.6	17	550	0.1
	30	10.2	1.7	17	560	2.2
	31	11.3	2.0	18	540	8.4
比較例	4	6.7	1.0	16	550	0.2

【 0 1 2 1 】

本実施例に対する比較例 4 として、軟磁性層間層を形成せず、第 1 軟磁性層の厚さ T_{n1} を 3 nm、第 2 軟磁性層の厚さ T_{n2} を 2 nm としたことを除き、実施例 29～31 と同一の条件で積層体を作製した。この比較例についても、本実施例と同様にしてその特性を調べた。その結果も表 6 に合わせて示す。

【 0 1 2 2 】

表 6 から分かるように、本実施例によれば積層体 20 の抵抗変化率はいずれも比較例 4 よりも大きかった。また、実施例 29 よりも実施例 30 の方がより大き

な抵抗変化率が得られ、実施例 30 よりも実施例 31 の方がより大きな抵抗変化率が得られた。但し、保磁力 H_c は実施例 31 よりも実施例 30 の方がより小さく抑えることができ、実施例 30 よりも実施例 29 の方がより小さく抑えることができた。ちなみに、実施例 31 の保磁力 H_c は 8.4 (Oe) と大きく、実施例 30 の保磁力 H_c は 2.2 (Oe) と 3 (Oe) よりは小さいもののより好ましい値である 1 (Oe) よりは大きかった。すなわち、第 1 軟磁性層 22 の間に軟磁性層間層 28 を設けるようにすれば、保磁力 H_c をより小さく抑えつつ抵抗変化率を大きくできることが分かった。

【 0 1 2 3 】

[実施例 32 ～ 41]

実施例 32 ～ 41 として、絶縁性基板の上に、図 17 に示したように、下地層 21, 第 1 軟磁性層 22, 第 2 軟磁性層 23, 非磁性層 24, 強磁性下層 55a, 強磁性層間層 59, 強磁性上層 55b, 反強磁性層 26 および保護層 27 を順次積層した積層体 50 をそれぞれ作製した。まず、絶縁性基板の上に、スパッタリング法により、Ta を用いて厚さ 5 nm の下地層 21 をそれぞれ成膜し、その上に、NiFe を用いて厚さ 3 nm の第 1 軟磁性層 22 をそれぞれ成膜し、その上に、CoFe を用いて厚さ 2 nm の第 2 軟磁性層 23 をそれぞれ成膜し、その上に、Cu を用いて厚さ 2.2 nm の非磁性層 24 をそれぞれ成膜し、その上に、CoFe を用いて実施例により厚さを変化させて強磁性下層 55a をそれぞれ成膜した。その際、後続の酸化処理により酸化される分を予め加味して成膜し、後続の酸化処理後に強磁性下層 55a の厚さ T_{ka} が表 7 に示した値となるようにした。

【 0 1 2 4 】

【 表 7 】

		厚さ (nm)				強磁性層 間層と非磁 性層との間の 距離 D_2	D_2/T_k	反強磁 性層
		強磁性 下層 T_{kb}	強磁性 層間層 T_{t2}	強磁性 上層 T_{kb}	強磁性層 T_k			
実施例	32	1	0.6	2	3	1	0.33	RuRhMn
	33	1.5	0.6	1.5	3	1.5	0.50	RuRhMn
	34	2	0.6	1	3	2	0.67	RuRhMn
	35	2.5	0.6	0.5	3	2.5	0.83	RuRhMn
	36	1.5	0.6	2.5	4	1.5	0.38	RuRhMn
	37	2	0.6	2	4	2	0.50	RuRhMn
	38	1.5	0.6	1.5	3	1.5	0.50	RuIrMn
	39	2	0.6	1	3	2	0.67	RuIrMn
	40	1.5	0.6	1.5	3	1.5	0.50	PtMn
	41	2	0.6	1	3	2	0.67	PtMn
	42	2	0.4	1	3	2	0.67	PtMn
	43	2	0.5	1	3	2	0.67	PtMn
	44	2	0.9	1	3	2	0.67	PtMn
	45	2	1.1	1	3	2	0.67	PtMn
比較例	5	0	0	3	3	—	—	RuRhMn
	6	0.5	0.6	2.5	3	0.5	0.17	RuRhMn

【 0 1 2 5 】

次いで、強磁性下層 5 5 a の表面を酸化し、厚さ T_{t2} が 0.6 nm の強磁性層間層 5 9 をそれぞれ成膜した。続いて、強磁性層間層 5 9 の上に、スパッタリング法により、CoFe を用いて表 7 に示したように厚さ T_{kb} を変化させて強磁性上層 5 5 b をそれぞれ成膜し、その上に、表 7 に示したように材料を変化させて厚さ 1.3 nm の反強磁性層 2 6 をそれぞれ成膜し、その上に、Ta を用いて厚さ 5 nm の保護層 2 7 をそれぞれ成膜した。なお、反強磁性層 2 6 を非熱処理系反強磁性材料を用いて形成する場合には、磁場を印加しながら成膜し、熱処理系反

強磁性材料を用いて形成する場合には、成膜ののち熱処理により反強磁性処理をそれぞれ行った。

【 0 1 2 6 】

作製した積層体 5 0 における強磁性層 5 5 の厚さ T_k 、強磁性層間層 5 9 と非磁性層 2 4 との間の距離 D_2 、および強磁性層 5 5 の厚さ T_k に対する強磁性層間層 5 9 と非磁性層 2 4 との間の距離 D_2 の比 D_2 / T_k は、それぞれ表 7 に示した通りである。積層体 5 0 を作製したのち、250℃における熱処理をそれぞれ行い、積層体 5 0 に電流を流しつつ磁界を与えてその特性をそれぞれ調べた。それらの結果を表 8 にそれぞれ示す。

【 0 1 2 7 】

【 表 8 】

		抵抗 変化率 (%)	抵抗の 変化量 ΔR (Ω)	積層体の 抵抗 R (Ω)	交換結 合磁界 (Oe)	保磁力 H_c (Oe)
実施例	32	9.2	1.4	15	350	0.1
	33	11.3	1.7	15	350	0.2
	34	12.3	1.8	15	330	0.1
	35	8.1	1.2	15	100	0.1
	36	11.8	1.7	14	270	0.3
	37	12.7	1.8	14	280	0.1
	38	10.8	1.6	15	340	0.1
	39	11.2	1.7	15	360	0.2
	40	11.1	1.8	16	490	0.1
	41	11.9	1.9	16	510	0.0
	42	8.5	1.3	15	490	0.1
	43	11.1	1.8	16	500	0.2
	44	11.5	1.8	16	440	0.2
	45	8.9	1.5	17	230	0.3
比較例	5	7.4	1.0	14	330	0.2
	6	5.1	0.8	15	180	0.5

【 0 1 2 8 】

本実施例に対する比較例 5 として、強磁性層間層を形成せず、強磁性層の厚さ T_k を 3 nm としたことを除き、実施例 32 ～ 40 と同一の条件で積層体を作製した。また、比較例 6 として、強磁性下層の厚さ T_{ka} を 0.5 nm とし、強磁性上層の厚さ T_{kb} を 2.5 nm としたことを除き、実施例 32 ～ 41 と同一の条件で積層体を作製した。これらの比較例についても、本実施例と同様にしてその特性をそれぞれ調べた。それらの結果も表 8 にそれぞれ合わせて示す。

【 0 1 2 9 】

表 8 から分かるように、本実施例によれば積層体 5 0 の抵抗変化率はいずれも 9 . 2 % 以上であり、強磁性層間層を設けない比較例 5 の 7 . 4 % よりも大きな値を得ることができた。また、交換結合磁界 H_{ex} は実施例 3 5 を除き 2 7 0 (O e) 以上であり、一般にスピバルブ型の M R 素子で最低限必要とされる 2 0 0 (O e) よりも十分に大きな値が得られた。更に、第 1 軟磁性層 5 2 および第 2 軟磁性層 2 3 の保磁力 H_c は通常のスピバルブ型の M R 素子において許容限界とされる 3 (O e) よりも十分に小さく抑えることができた。

【 0 1 3 0 】

これに対して、強磁性層間層を非磁性層に近づけて設けた比較例 6 では、強磁性層間層を設けない比較例 5 に比べて、抵抗変化率も交換結合磁界 H_{ex} も小さい値しか得られなかった。また、強磁性層間層を反強磁性層に近づけて設けた実施例 3 5 では、抵抗変化率については比較例 5 に比べて大きな値が得られたが、交換結合磁界 H_{ex} が 1 0 0 (O e) と非常に小さく、スピバルブ型の M R 素子として十分な値は得られなかった。すなわち、強磁性層 5 5 の厚さ T_k に対する強磁性層間層 5 9 と非磁性層 2 4 との間の距離 D_2 の比 D_2 / T_k が 0 . 2 以上 0 . 8 以下の位置に強磁性層間層 5 9 を設けるようにすれば、抵抗変化率を大きくできると共に、交換結合磁界 H_{ex} についても十分な大きさを得ることができ好ましいことが分かった。

【 0 1 3 1 】

[実施例 4 2 ~ 4 5]

実施例 4 2 ~ 4 5 として、強磁性層間層 5 9 の厚さ T_{t2} を表 7 に示したように変化させたことを除き、実施例 4 1 と同一の条件で積層体 5 0 をそれぞれ作製した。これらの積層体 5 0 についても、実施例 4 1 と同様にしてその特性をそれぞれ調べた。それらの結果を表 8 にそれぞれ示す。

【 0 1 3 2 】

表 8 から分かるように、強磁性層間層 5 9 の厚さ T_{t2} を 0 . 6 n m とした実施例 4 1 において最も大きな抵抗変化率が得られ、厚さ T_{t2} が薄くなっても厚くなっても抵抗変化率が小さくなる傾向が見られた。また、軟磁性層間層 5 9 の厚さ

T_{t2} が厚くなると交換結合磁界 H_{ex} が小さくなる傾向が見られた。すなわち、強磁性層間層59の厚さ T_{t2} を0.5nm以上1nm以下とすれば、抵抗変化率を大きくすることができると共に、交換結合磁界 H_{ex} についても十分な値を得られることが分かった。

【0133】

[実施例46～54]

実施例46, 49, 52として、絶縁性基板の上に、図18に示したように、下地層21, 第1下層22a, 軟磁性層間層28, 第1上層22b, 第2軟磁性層23, 非磁性層24, 強磁性下層65a, 強磁性層間層69, 強磁性上層65b, 反強磁性層26および保護層27を順次積層した積層体60をそれぞれ作製した。まず、絶縁性基板の上に、スパッタリング法により、Taを用いて厚さ5nmの下地層21をそれぞれ成膜し、その上に、NiFeを用いて後続の酸化処理後の厚さ T_{n1a} が2nmとなるように第1下層22aをそれぞれ成膜した。

【0134】

次いで、第1下層22aの表面を酸化し、厚さ T_{t1} が0.6nmの軟磁性層間層28をそれぞれ形成した。続いて、軟磁性層間層28の上に、スパッタリング法により、NiFeを用いて厚さ T_{n1b} が3nmの第1上層22bをそれぞれ成膜し、その上に、CoFeを用いて厚さ T_{n2} が1nmの第2軟磁性層23をそれぞれ成膜し、その上に、Cuを用いて厚さ2.2nmの非磁性層24をそれぞれ成膜し、その上に、CoFeを用いて後続の酸化処理後の厚さ T_{ka} が2nmとなるように強磁性下層65aをそれぞれ成膜した。

【0135】

そののち、強磁性下層65aの表面を酸化し、厚さ T_{t2} が0.6nmの強磁性層間層69をそれぞれ形成した。強磁性層間層69を形成したのち、その上に、スパッタリング法により、CoFeを用いて厚さ T_{kb} が1nmの強磁性上層65bをそれぞれ成膜し、その上に、表9に示したように材料を変化させて厚さ13nmの反強磁性層26をそれぞれ成膜し、その上に、Taを用いて厚さ5nmの保護層27をそれぞれ成膜した。なお、反強磁性層26を非熱処理系反強磁性材料を用いて形成する場合には、磁場を印加しながら成膜し、熱処理系反強磁性材

料を用いて形成する場合には、成膜ののち熱処理により反強磁性処理をそれぞれ行った。

【 0 1 3 6 】

【表 9】

		厚さ(nm)		反強磁性層	抵抗変化率(%)	抵抗の変化量 ΔR (Ω)	積層体の抵抗R(Ω)	交換結合磁界(Oe)	保磁力Hc(Oe)
		軟磁性層間層T ₁₁	強磁性層間層T ₁₂						
実施例	46	0.6	0.6	RuRhMn	13.5	2.2	16	330	0.3
	47	0.6	0	RuRhMn	10.3	1.6	16	340	0.2
	48	0	0.6	RuRhMn	12.5	1.8	14	340	0.1
	49	0.6	0.6	RuIrMn	13.0	2.1	16	320	0.3
	50	0.6	0	RuIrMn	9.9	1.6	16	340	0.3
	51	0	0.6	RuIrMn	11.9	1.7	14	310	0.2
	52	0.6	0.6	PtMn	13.6	2.2	16	500	0.2
	53	0.6	0	PtMn	11.0	1.8	16	510	0.2
	54	0	0.6	PtMn	11.5	1.7	15	480	0.1
比較例	7	0	0	RuRhMn	7.5	1.0	14	330	0.1

【 0 1 3 7 】

積層体60を作製したのち、250℃における5時間の熱処理をそれぞれ行い、積層体60に電流を流しつつ磁界を与えてその特性をそれぞれ調べた。それらの結果を表9にそれぞれ示す。

【 0 1 3 8 】

また、実施例47、50、53として、強磁性層間層69を形成しないことを除き、実施例46、49、52と同一の条件で図7に示した積層体20をそれぞれ作製し、同様にその特性をそれぞれ調べた。更に、実施例48、51、54として、軟磁性層間層28を形成しないことを除き、実施例46、49、52と同一の条件で図17に示した積層体50をそれぞれ作製し、同様にその特性をそれぞれ調べた。それらの結果も表9にそれぞれ示す。

【 0 1 3 9 】

本実施例に対する比較例 7 として、軟磁性層間層および強磁性層間層を形成しないことを除き、実施例 4 4 ～ 5 4 と同一の条件で積層体を作製した。この比較例についても、本実施例と同様にしてその特性を調べた。その結果も表 9 に合わせて示す。

【 0 1 4 0 】

表 9 から分かるように、本実施例によれば積層体 2 0 , 5 0 , 6 0 の抵抗変化率はいずれも比較例 7 よりも大きく、保磁力 H_c および交換結合磁界 H_{ex} についても十分な値が得られた。また、軟磁性層間層 2 8 および強磁性層間層 6 9 の両方を形成した実施例 4 6 , 4 9 , 5 2 については、それらの一方のみを形成した場合に比べてより大きな抵抗変化率が得られた。すなわち、軟磁性層間層 2 8 および強磁性層間層 6 9 を共に設けるようにすれば、より大きな抵抗変化率を得ることができ、保磁力 H_c および交換結合磁界 H_{ex} についてもそれぞれ十分な値を得られることが分かった。

【 0 1 4 1 】

また、実施例 5 2 , 5 3 , 5 4 の積層体 2 0 , 5 0 , 6 0 については、作製後の 2 5 0 ℃ における 5 時間の熱処理の後、更に 2 5 0 ℃ の熱処理を 5 時間, 1 0 時間, 2 0 時間, 5 0 時間とそれぞれ変化させて行い、抵抗変化率の劣化をそれぞれ調べた。それらの結果を表 1 0 にそれぞれ示す。また、比較例 7 についても同様にして熱安定性を調べた。その結果も表 1 0 に合わせて示す。

【 0 1 4 2 】

【表 1 0】

		厚さ (nm)			熱処理時間 (時間)				
		軟磁性層間層 T _{t1}	強磁性層間層 T _{t2}			5	10	20	50
実施例	52	0.6	0.6	抵抗変化率 (%)	13.6	13.5	13.3	13.0	12.8
				劣化率 (%)	100	99	98	96	94
	53	0.6	0	抵抗変化率 (%)	11.0	10.9	10.7	10.5	10.3
				劣化率 (%)	100	99	97	95	94
	54	0	0.6	抵抗変化率 (%)	11.5	11.4	11.1	10.8	10.6
				劣化率 (%)	100	99	97	94	92
比較例	7	0	0	抵抗変化率 (%)	7.6	7.5	7.4	7.2	7.0
				劣化率 (%)	100	99	97	94	92

【 0 1 4 3 】

表 1 0 から分かるように、本実施例によれば 5 0 時間加熱しても抵抗変化率の劣化率は 9 2 % 以上であり、従来例である比較例 7 と同等またはそれ以上の値が得られた。すなわち、軟磁性層間層 2 8 および強磁性層間層 5 9 の少なくとも一方を設けるようにすれば、熱安定性も高く、製造工程中に熱処理工程が含まれていても、大きな抵抗変化率を得られることが分かった。

【 0 1 4 4 】

なお、上記実施例では、軟磁性層間層 2 8 および強磁性層間層 5 9 , 6 9 が酸化物を含むようにそれぞれ構成した場合について説明したが、窒化物あるいは酸化窒化物を含むようにそれぞれ構成しても同様の結果を得ることができる。

【 0 1 4 5 】

また、上記実施例では、下地層 2 1、第 1 軟磁性層 2 2 , 5 2、第 1 下層 2 2 a、第 1 上層 2 2 b、第 2 軟磁性層 2 3、非磁性層 2 4、強磁性層 2 5 , 5 5 , 6 5、強磁性下層 5 5 a , 6 5 a、強磁性上層 5 5 b , 6 5 b、反強磁性層 2 6 および保護層 2 7 の材料および厚さについて具体的な例を挙げて説明したが、上記実施の形態において説明した材料および厚さについても、上記実施例と同様の

結果を得ることができる。

【 0 1 4 6 】

更に、上記実施例では、軟磁性層の厚さ T_n に対する非磁性層 2 4 と軟磁性層間層 2 8 との間の距離 D_1 との比 D_1 / T_n が 0. 3 以上 1 未満の場合、または、強磁性層 5 5 の厚さ T_k に対する非磁性層 2 4 と強磁性層間層 5 9 との間の距離 D_2 との比 D_2 / T_k が 0. 2 以上 0. 8 以下の場合に優れた特性が得られることを具体的に説明したが、非磁性層 2 4 と軟磁性層間層 2 8 との間の距離が 1 n m 以上 8 n m 未満の場合、または、非磁性層 2 4 と強磁性層間層 5 9 との間の距離が 0. 6 n m 以上 3. 6 n m 以下の場合にも同様の結果を得ることができる。

【 0 1 4 7 】

以上、いくつかの実施の形態および実施例を挙げて本発明を説明したが、本発明はこれらの実施の形態および実施例に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、上記実施の形態および実施例では、第 1 軟磁性層 2 2, 5 2、第 2 軟磁性層 2 3、非磁性層 2 4、強磁性層 2 5, 5 5, 6 5 および反強磁性層 2 6 を下から順に積層した場合について説明したが、逆に反強磁性層の方から順に積層するようにしてもよい。すなわち、本発明は、一対の対向する面を有する非磁性層と、この非磁性層の一方の面側に形成された軟磁性層と、非磁性層の他方の面側に形成された強磁性層と、この強磁性層の非磁性層とは反対の側に形成された反強磁性層とを有する場合において広く適用することができる。

【 0 1 4 8 】

また、上記実施の形態および実施例では、軟磁性層が第 1 軟磁性層と第 2 軟磁性層との 2 層構造を有する場合について説明したが、軟磁性層は単層構造とされていてもよく、また 3 層以上の積層構造であっても良い。また、上記の実施の形態では、磁区制御膜として、強磁性膜と反強磁性膜とを積層して用いているが、これらの代わりにハードマグネットを用いても良い。

【 0 1 4 9 】

更に、上記実施の形態では、本発明の磁気変換素子を複合型薄膜磁気ヘッドに用いる場合について説明したが、再生専用の薄膜磁気ヘッドに用いることも可能

である。また、記録ヘッド部と再生ヘッド部の積層順序を逆にしても良い。

【 0 1 5 0 】

加えて、本発明の磁気変換素子の構成は、トンネル接合型磁気抵抗効果膜（TMR膜）に適用しても良い。

【 0 1 5 1 】

更にまた、本発明の磁気変換素子は、上記実施の形態で説明した薄膜磁気ヘッドのほかに、例えば、磁気信号を検知するセンサ（加速度センサなど）や、磁気信号を記憶するメモリ等に適用することも可能である。

【 0 1 5 2 】

【発明の効果】

以上説明したように、請求項1ないし請求項17のいずれか1に記載の磁気変換素子または請求項27記載の薄膜磁気ヘッドによれば、軟磁性層の中に磁性を有し且つ軟磁性層よりも電気抵抗が大きい軟磁性層間層を設けるようにしたので、電子の通路を狭くすることができる。よって、抵抗変化率を大きくすることができ、小さな信号磁界であっても検出することができる。また、軟磁性層の磁化の向きを一体的に変化させることができ、軟磁性層の保磁力を小さく抑えることができる。よって、出力変動が小さく高い繰り返し精度を得ることができる。以上のことから、例えば 20 Gbit/inch^2 を越える高密度磁気記録への対応も可能となるという効果を奏する。また、熱安定性も高く、製造工程中に熱処理工程が含まれていても特性の劣化が少なく、大きな抵抗変化率を得ることができるという効果も奏する。

【 0 1 5 3 】

特に、請求項2ないし請求項17のいずれか1に記載のあるいは請求項3ないし請求項17のいずれか1に記載の磁気変換素子、または請求項27記載の薄膜磁気ヘッドによれば、軟磁性層の厚さを T_n とし、非磁性層と軟磁性層間層との間の距離を D_1 とすると、 $0.3 T_n \leq D_1 < T_n$ の関係が成立するようにしたので、また、非磁性層と軟磁性層間層との間の距離を 1 nm 以上 8 nm 未満とするようにしたので、電子の移動範囲を狭くし過ぎることなく効果的に制限することができ、より大きな抵抗変化率を得ることができるという効果を奏する。

【 0 1 5 4 】

また、請求項 5 ないし請求項 1 7 のいずれか 1 に記載の磁気変換素子または請求項 2 7 記載の薄膜磁気ヘッドによれば、軟磁性層が第 1 軟磁性層と第 2 軟磁性層とを有する場合において、軟磁性層間層を第 1 軟磁性層の中に設けるようにしたので、保磁力をより小さくすることができるという効果を奏する。

【 0 1 5 5 】

更に、請求項 6 ないし請求項 1 7 のいずれか 1 に記載の磁気変換素子または請求項 2 7 記載の薄膜磁気ヘッドによれば、軟磁性層間層が酸化物、窒化物および酸化窒化物のうちの少なくとも 1 種を含むようにしたので、また、請求項 1 5 ないし請求項 1 7 のいずれか 1 に記載のあるいは請求項 2 1 ないし請求項 2 6 のいずれか 1 に記載の磁気変換素子または請求項 2 7 記載の薄膜磁気ヘッドによれば、強磁性層間層が酸化物、窒化物および酸化窒化物のうちの少なくとも 1 種を含むようにしたので、磁氣的に安定させることができ、出力変動を少なくすることができる。よって、安定した特性を得ることができるという効果を奏する。

【 0 1 5 6 】

加えて、請求項 1 1 ないし請求項 1 7 のいずれか 1 に記載の磁気変換素子または請求項 2 7 記載の薄膜磁気ヘッドによれば、軟磁性層間層の厚さを 0 . 5 n m 以上 1 . 0 n m 以下とするようにしたので、また、請求項 1 7 記載あるいは請求項 2 6 記載の磁気変換素子または請求項 2 7 記載の薄膜磁気ヘッドによれば、強磁性層間層の厚さを 0 . 5 n m 以上 1 . 0 n m 以下とするようにしたので、電子の移動経路を効果的に制限することができ、より大きな抵抗変化率を得ることができるという効果を奏する。

【 0 1 5 7 】

更にまた、請求項 1 2 ないし請求項 1 7 のいずれか 1 に記載の磁気変換素子または請求項 2 7 記載の薄膜磁気ヘッドによれば、更に、強磁性層の中に磁性を有し且つ強磁性層よりも電気抵抗が大きい強磁性層間層を設けるようにしたので、抵抗変化率をより大きくすることができるという効果を奏する。

【 0 1 5 8 】

加えてまた、請求項 1 8 ないし請求項 2 6 のいずれか 1 に記載の磁気変換素子

または請求項 27 記載の薄膜磁気ヘッドによれば、強磁性層間層の厚さを T_k とし、非磁性層と強磁性層間層との間の距離を D_2 とすると、 $0.2 T_k \leq D_2 \leq 0.8 T_k$ の関係が成立するようにしたので、また、非磁性層と強磁性層間層との間の距離を 0.6 nm 以上 3.6 nm 以下とするようにしたので、抵抗変化率を大きくすることができると共に、反強磁性層と強磁性層との間の交換結合磁界を十分に大きくすることができるといふ効果を奏する。また、熱安定性も高く、製造工程中に熱処理工程が含まれていても特性の劣化が少なく、大きな抵抗変化率を得ることができるといふ効果も奏する。

【 0 1 5 9 】

更にまた、請求項 28 ないし請求項 32 のいずれか 1 に記載の磁気変換素子の製造方法または請求項 33 記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法によれば、本発明の磁気変換素子または本発明の薄膜磁気ヘッドを容易に製造することができる。特に、請求項 29 あるいは請求項 32 に記載の磁気変換素子の製造方法または請求項 33 記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法によれば、軟磁性層の一部を酸化、窒化、または酸化および窒化することにより軟磁性層間層を形成するようにしたので、また、強磁性層の一部を酸化、窒化、または酸化および窒化することにより強磁性層間層を形成するようにしたので、良好な軟磁性層間層あるいは強磁性層間層を容易に得ることができるといふ効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施の形態に係る MR 素子を含む薄膜磁気ヘッドを備えたアクチュエータアームの構成を表す斜視図である。

【図 2】

図 1 に示したアクチュエータアームにおけるスライダの構成を表す斜視図である。

【図 3】

第 1 の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの構成を表す分解斜視図である。

【図 4】

図 3 に示した薄膜磁気ヘッドの I V 矢視方向から見た構造を表す平面図である

。

【図 5】

図 3 に示した薄膜磁気ヘッドの図 4 における V-V 線に沿った矢視方向の構造を表す断面図である。

【図 6】

図 3 に示した薄膜磁気ヘッドの図 4 における V I-V I 線に沿った矢視方向の構造、すなわち図 5 における V I-V I 線に沿った矢視方向の構造を表す断面図である。

【図 7】

図 6 に示した M R 素子における積層体の構成を表す斜視図である。

【図 8】

図 7 に示した積層体を用いた M R 素子における外部磁界と電気抵抗の関係を表す特性図である。

【図 9】

図 3 に示した薄膜磁気ヘッドの製造方法における一工程を説明するための断面図である。

【図 10】

図 9 に続く工程を説明するための断面図である。

【図 11】

図 10 に続く工程を説明するための断面図である。

【図 12】

図 11 に続く工程を説明するための断面図である。

【図 13】

図 12 に続く工程を説明するための断面図である。

【図 14】

図 13 に続く工程を説明するための断面図である。

【図 15】

第 1 の実施の形態に係る M R 素子における積層体の変形例を表す斜視図である

。

【図 1 6】

第 1 の実施の形態に係る M R 素子における積層体の他の変形例を表す斜視図である。

【図 1 7】

本発明の第 2 の実施の形態に係る M R 素子における積層体の構成を表す斜視図である。

【図 1 8】

本発明の第 3 の実施の形態に係る M R 素子における積層体の構成を表す斜視図である。

【図 1 9】

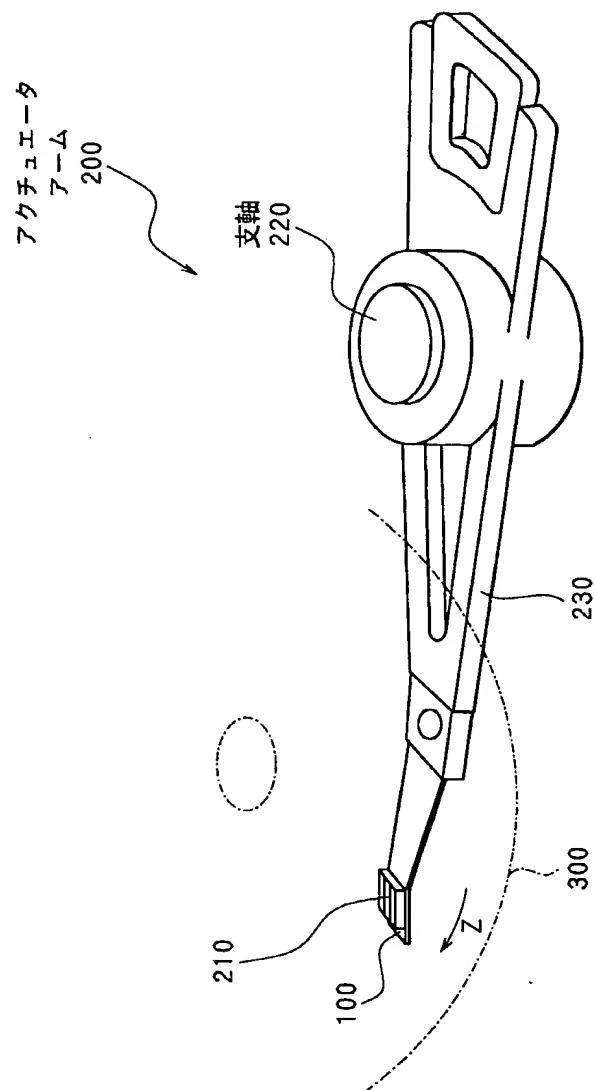
従来の M R 素子における積層体の構成を表す斜視図である。

【符号の説明】

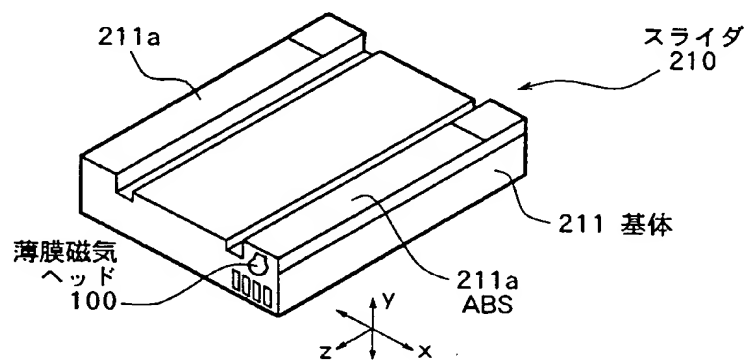
1 1 …絶縁層、1 2 …下部シールド層、1 3 …下部シールドギャップ層、1 4 …上部シールドギャップ層、1 5 …上部シールド層、2 0, 5 0, 6 0 …積層体、2 1, 9 1 …下地層、2 2, 5 2 …第 1 軟磁性層、2 2 a …第 1 下層、2 2 b …第 1 上層、2 3 …第 2 軟磁性層、2 4, 9 4 …非磁性層、2 5, 5 5, 6 5, 9 5 …強磁性層、2 6, 9 6 …反強磁性層、2 7, 9 7 …保護層、2 8 …軟磁性層間層、3 0 a, 3 0 b …磁区制御膜、3 1 a, 3 1 b …磁区制御用強磁性膜、3 2 a, 3 2 b …磁区制御用反強磁性膜、3 3 a, 3 3 b …リード層、4 1 …記録ギャップ層、4 2, 4 4, 4 6 …フォトレジスト層、4 3, 4 5 …薄膜コイル、4 7 …上部磁極、4 8 …オーバーコート層、5 5 a, 6 5 a …強磁性下層、5 5 b, 6 5 b …強磁性上層、5 9, 6 9 …強磁性層間層、9 2 …軟磁性層、1 0 0 …薄膜磁気ヘッド、1 0 1 …再生ヘッド部、1 0 2 …記録ヘッド部、1 1 0 …M R 素子（磁気変換素子）、2 0 0 …アクチュエータアーム、2 1 0 …スライダ、2 1 1 …基体、2 1 1 a …エアベアリング面、2 2 0 …支軸、2 3 0 …腕部、3 0 0 …記録媒体、4 0 1 …フォトレジスト膜、4 0 2 …堆積物。

【書類名】 図面

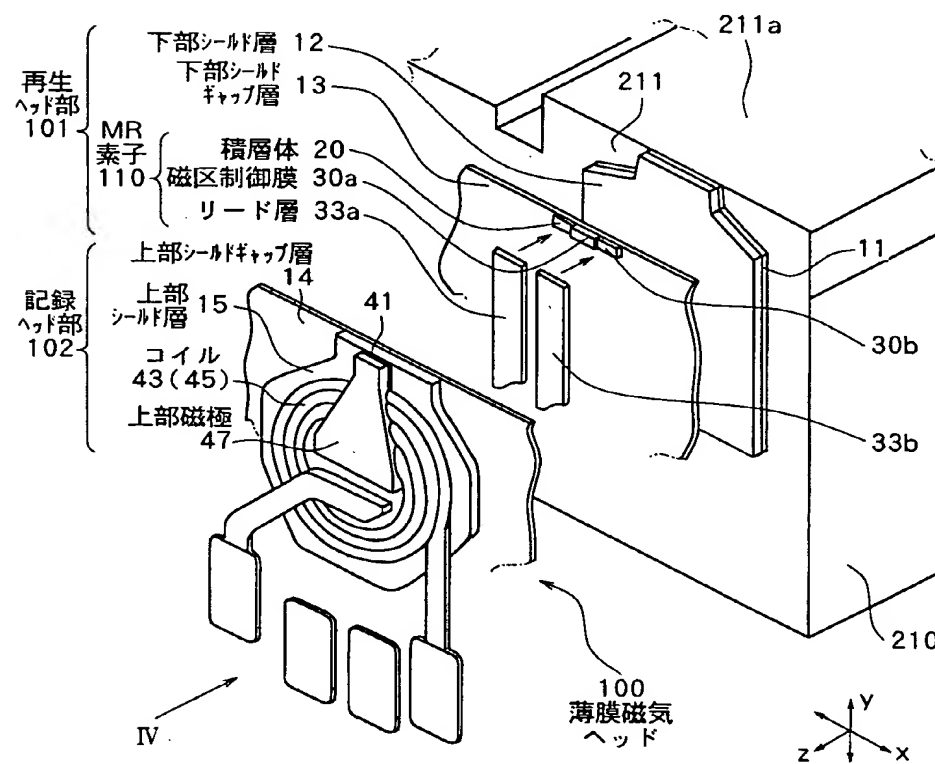
【図 1】



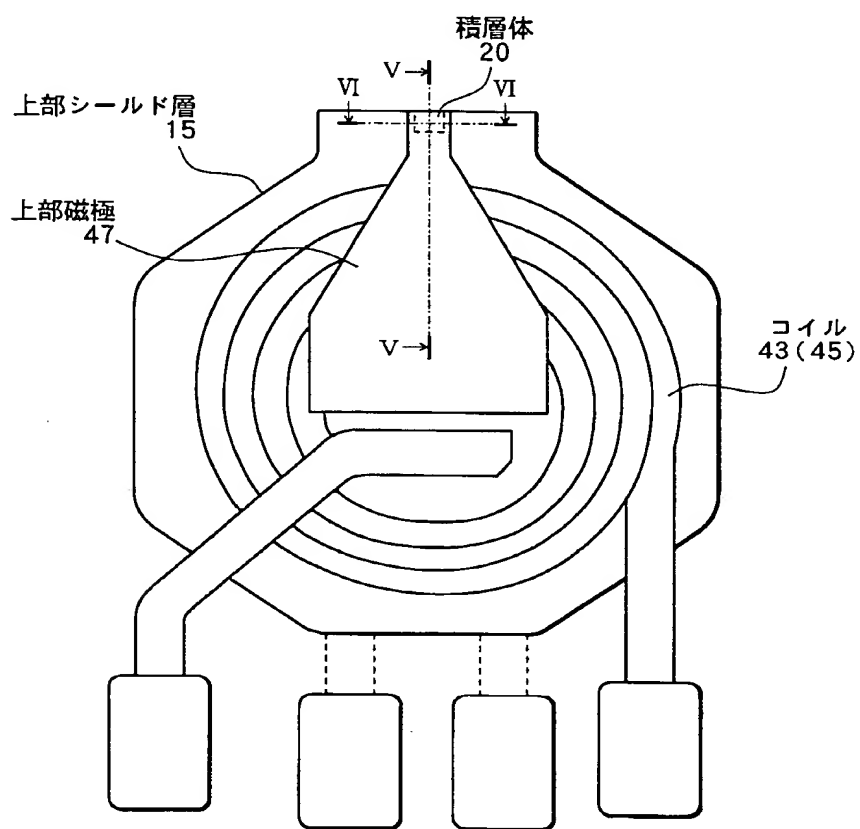
【図 2】



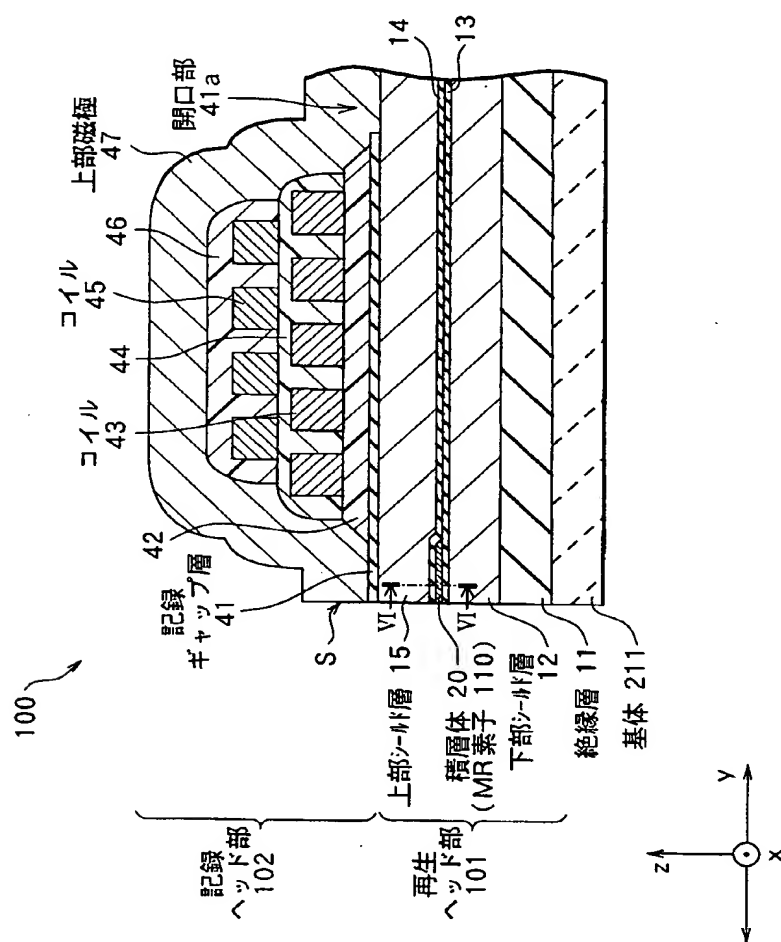
【図 3】



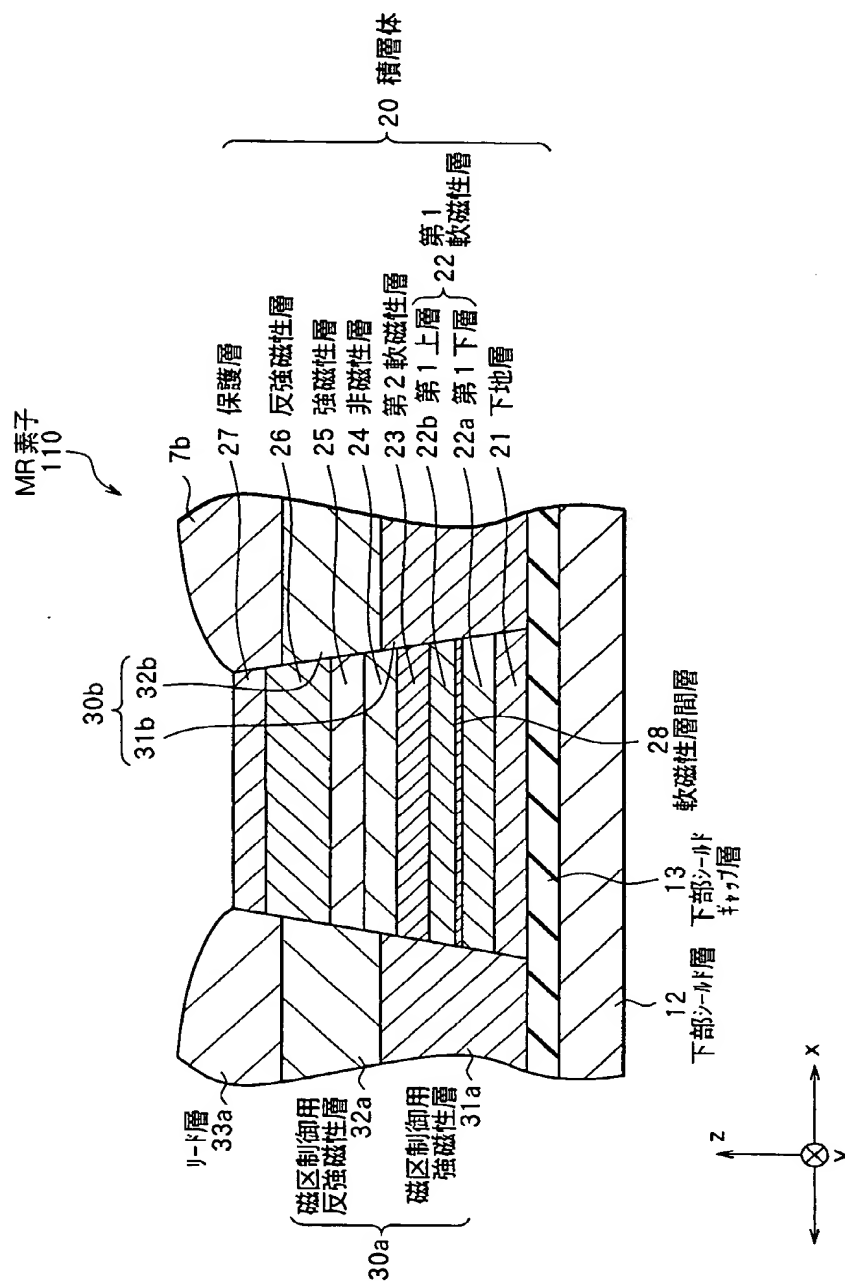
【 図 4 】



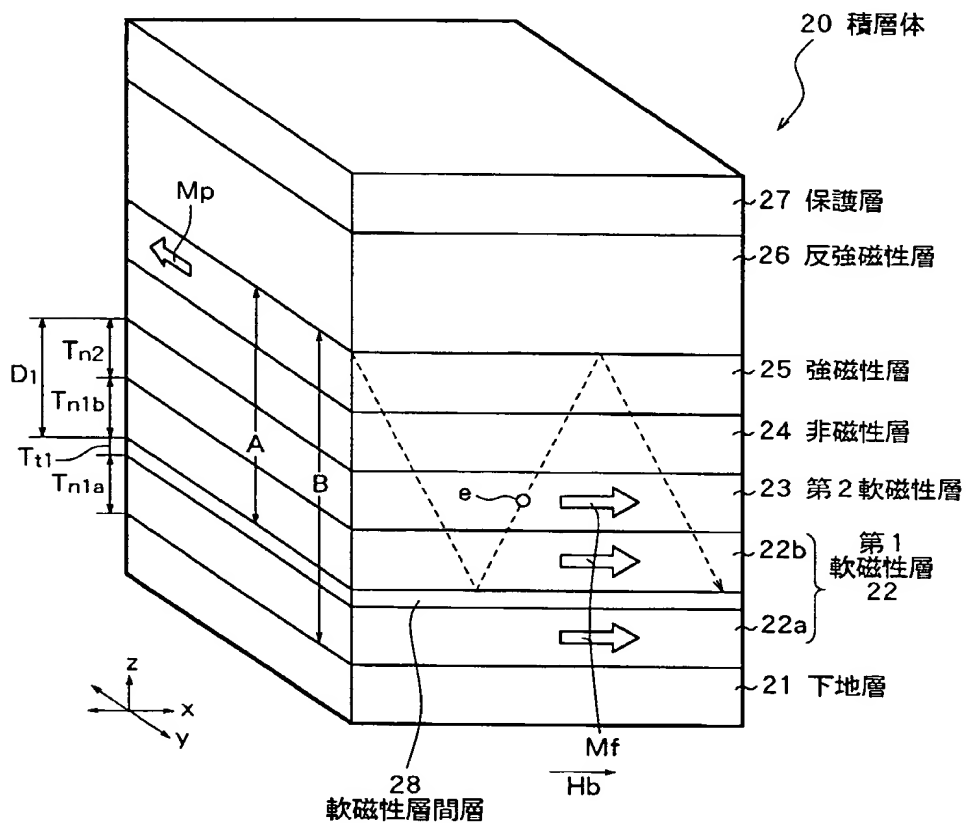
【図 5】



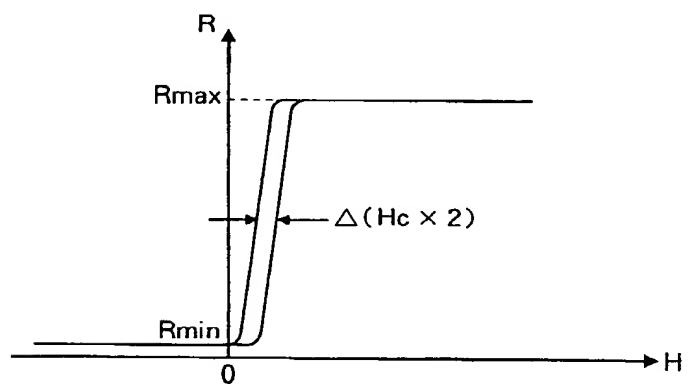
【図 6】



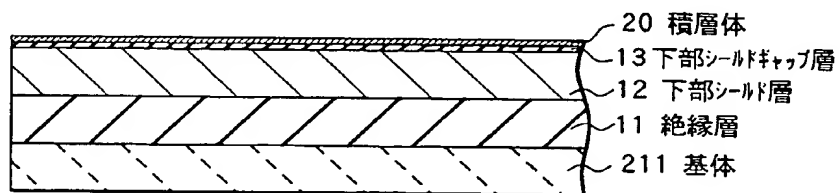
【図 7】



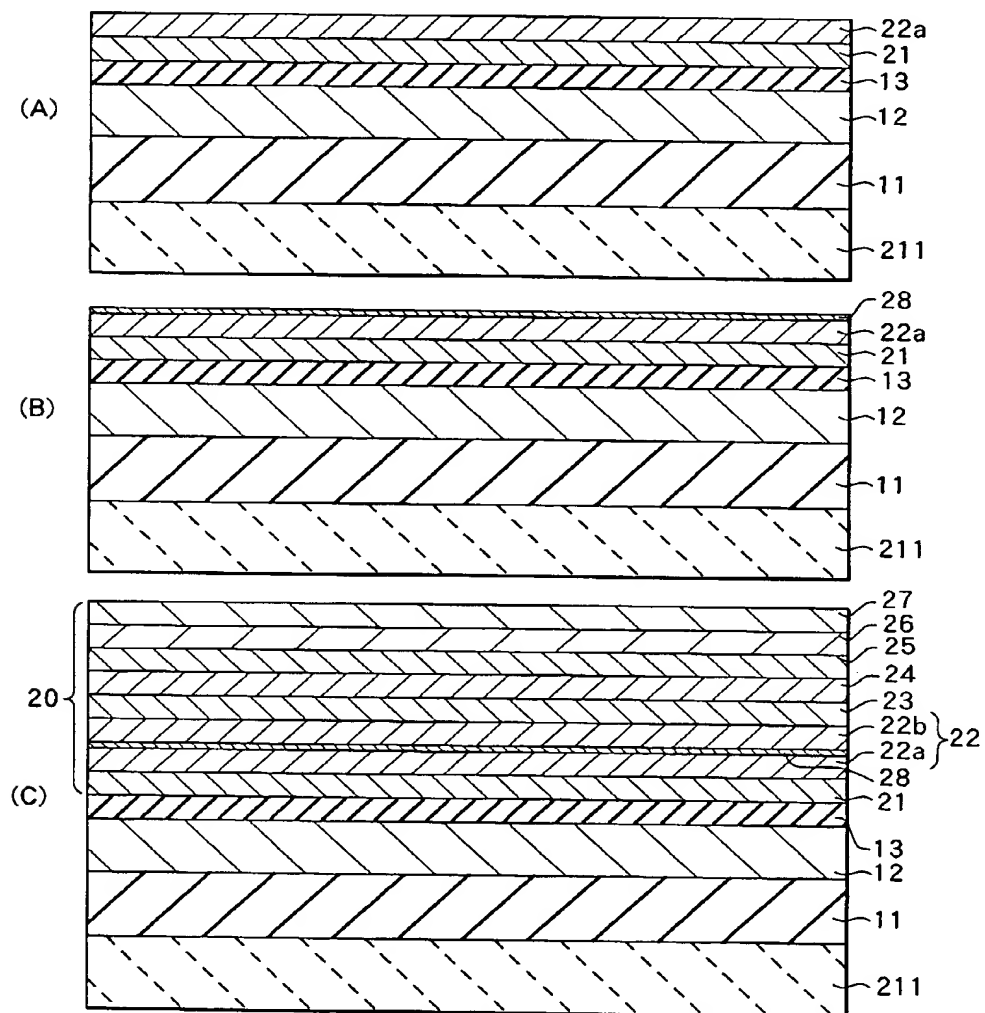
【図 8】



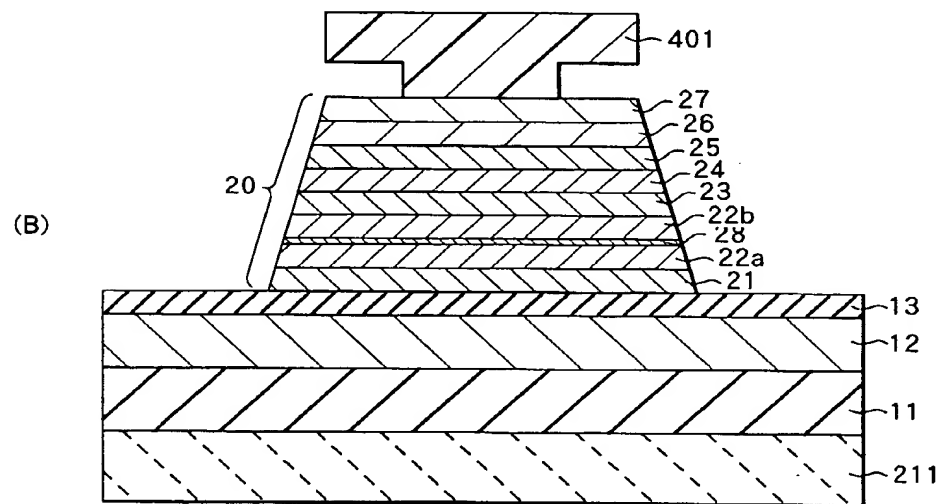
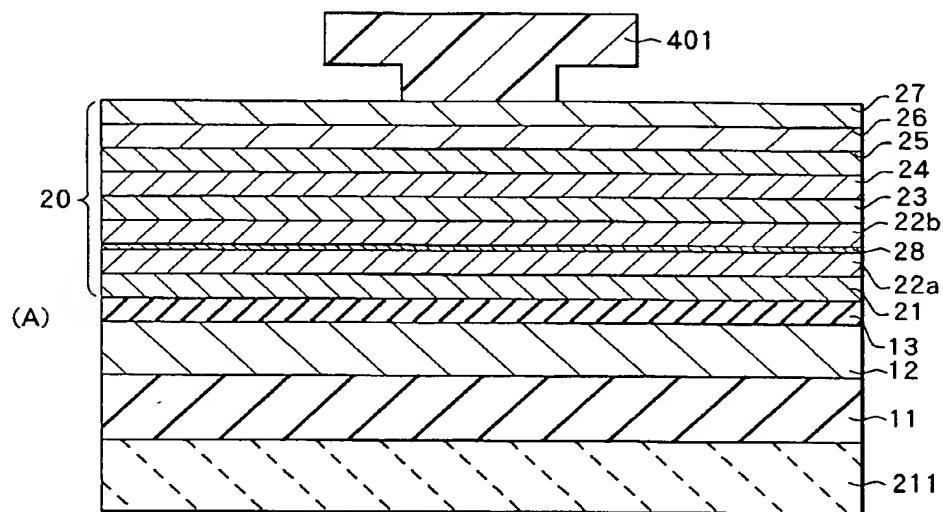
【図 9】



【図 10】

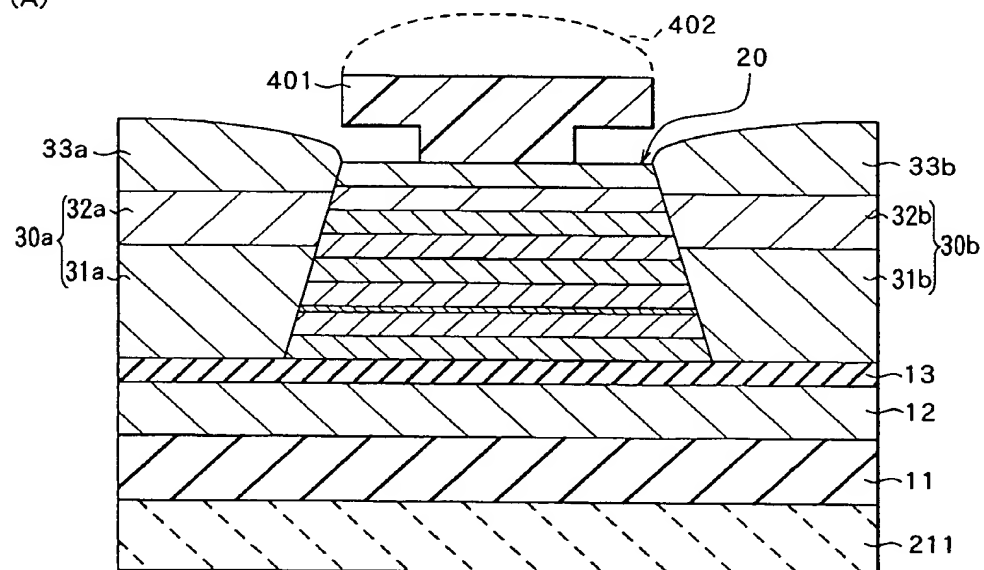


【図 1 1】

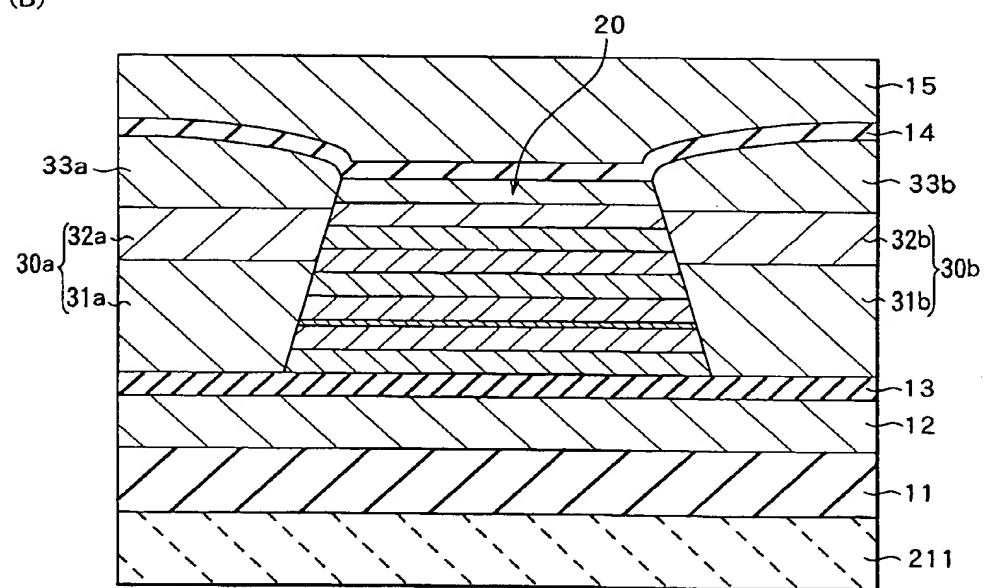


【図 1 2】

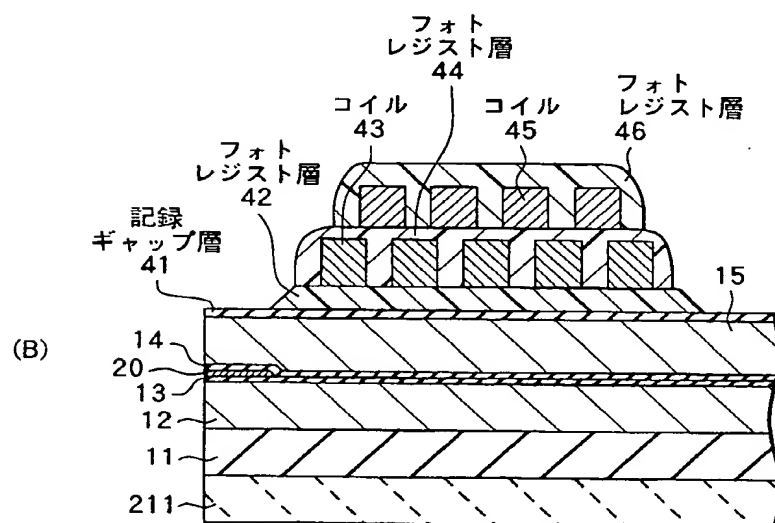
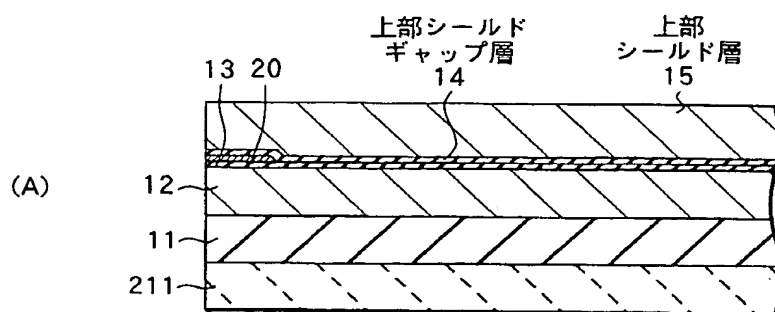
(A)



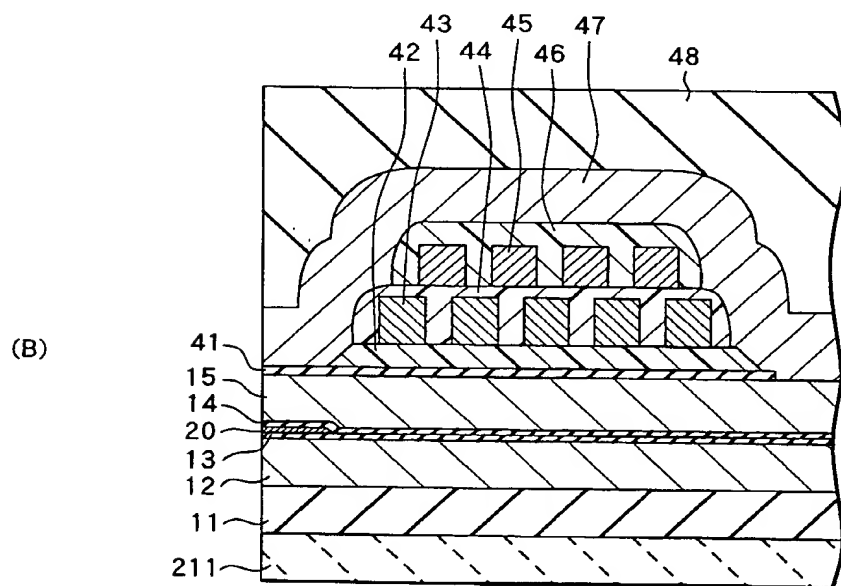
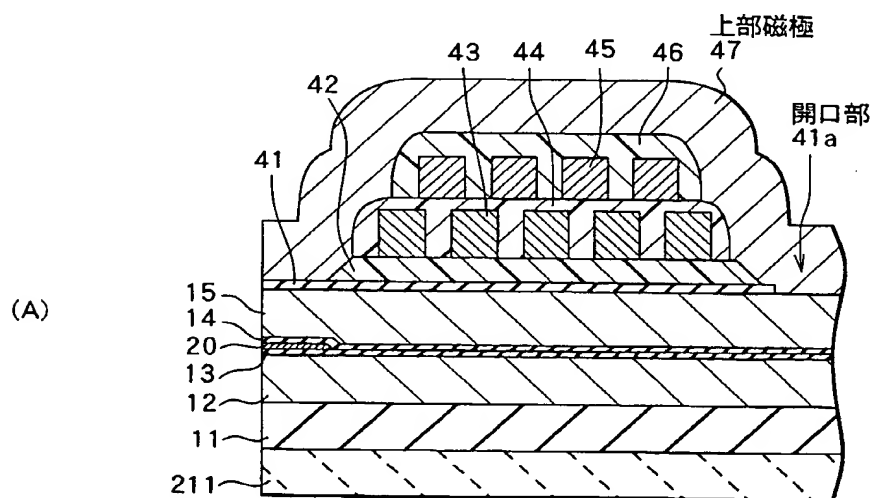
(B)



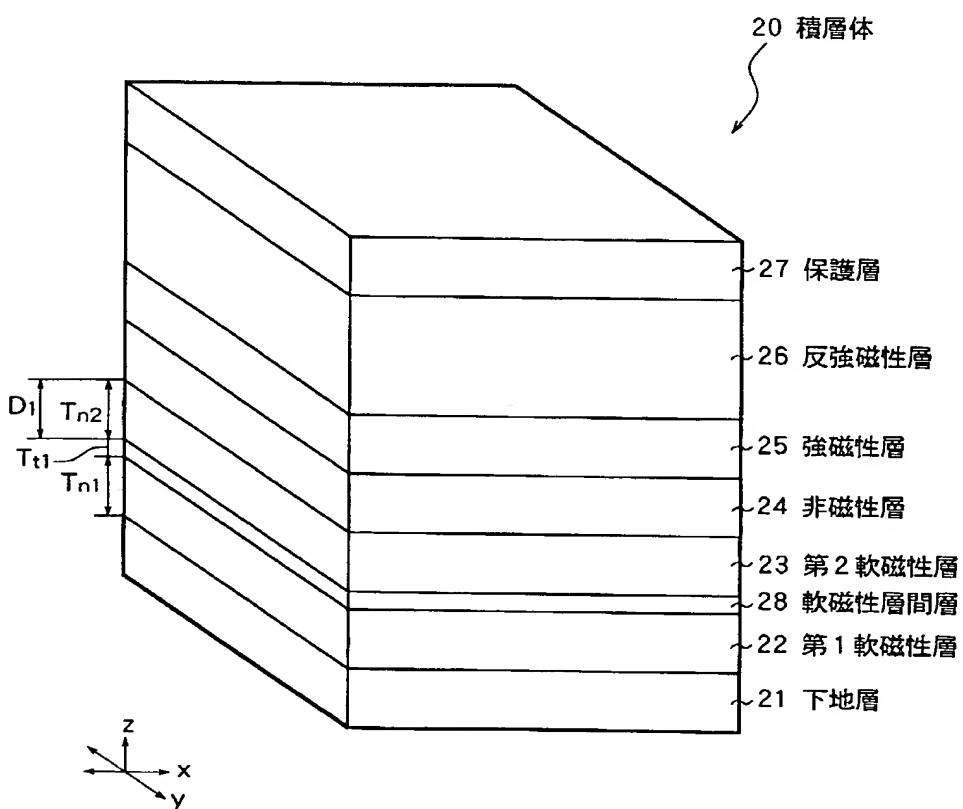
【図 13】



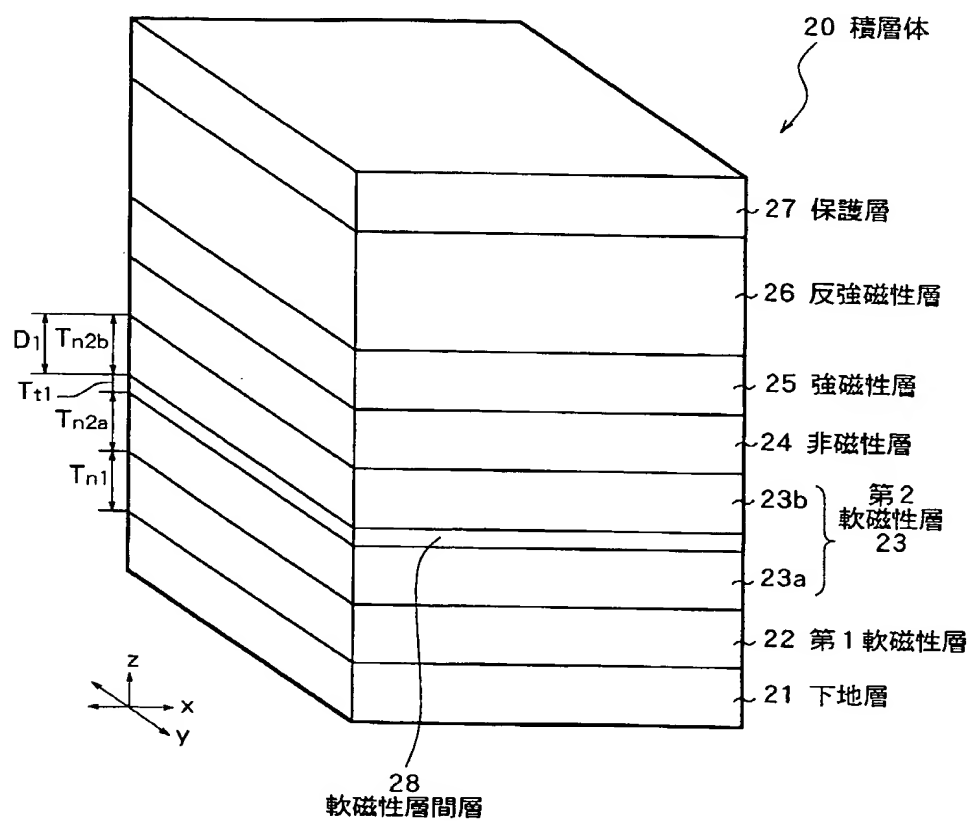
【 図 1 4 】



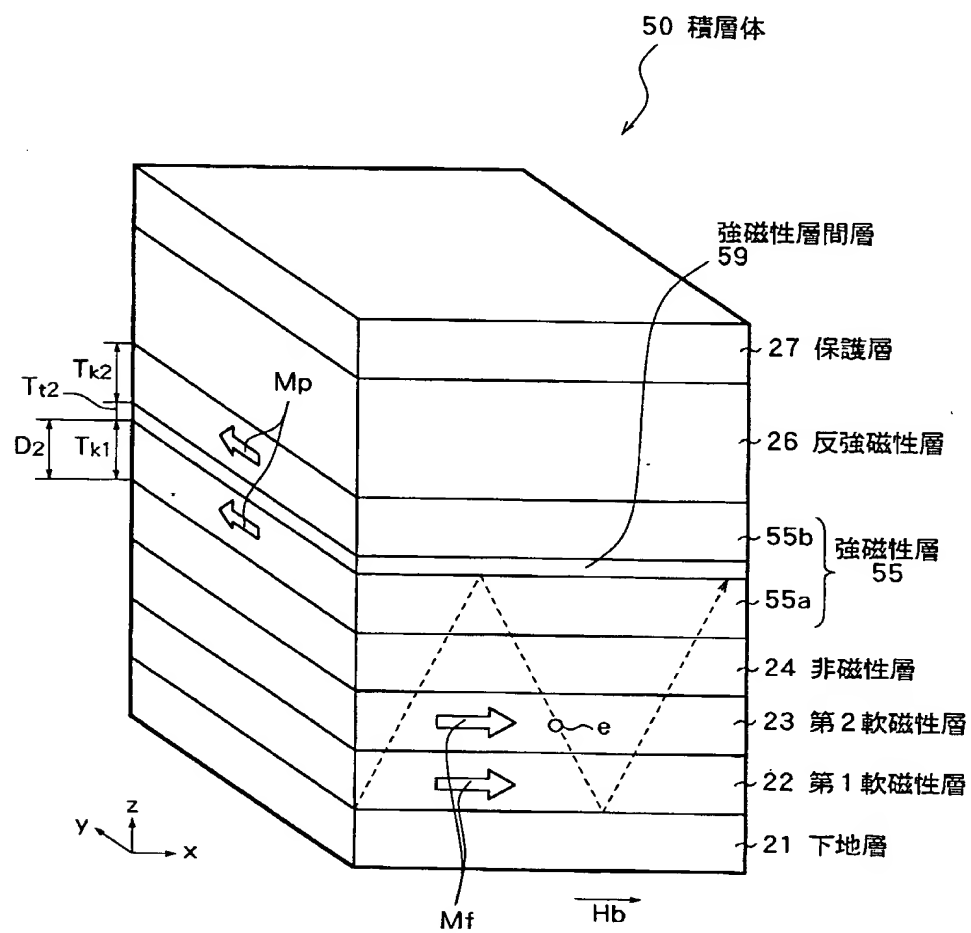
【図 15】



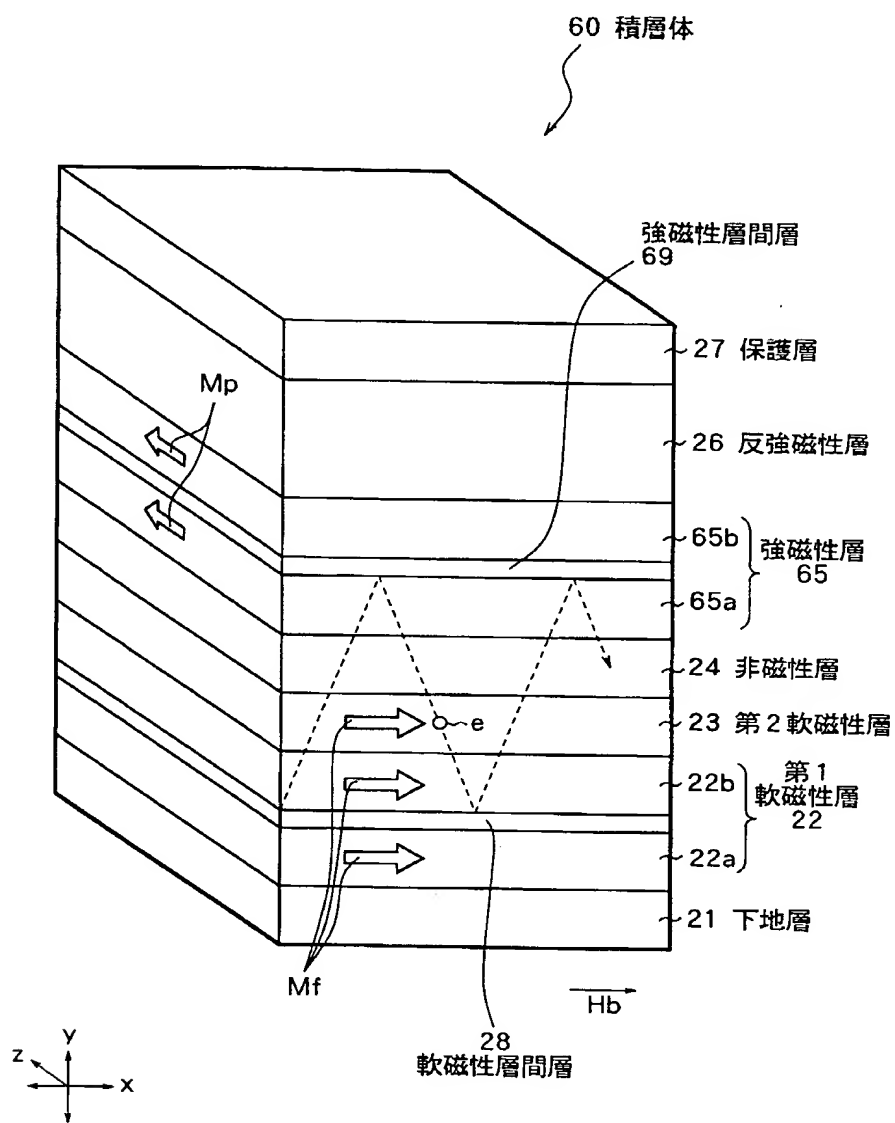
【図 16】



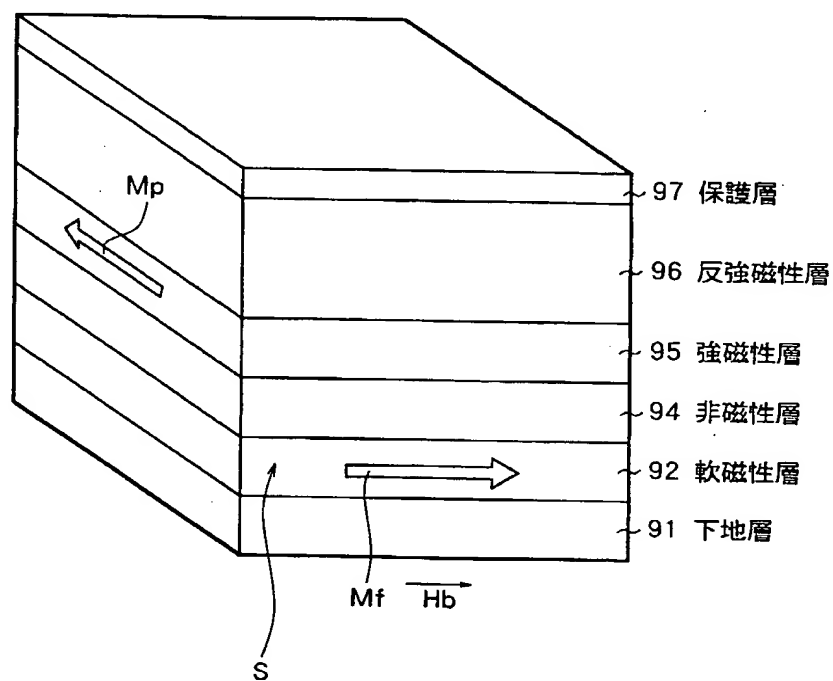
【図 17】



【図 18】



【図 19】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 抵抗変化を大きくすることができ、且つ適切な保磁力を得ることができ、磁気変換素子、薄膜磁気ヘッドおよびそれらの製造方法を提供する。

【解決手段】 スピンバルブ膜である積層体 2 は、下地層 2 1 の上に第 1 軟磁性層 2 2、第 2 軟磁性層 2 3、非磁性金属層 2 4、強磁性層 2 5、反強磁性層 2 6 および保護層 2 7 を順次積層することにより構成されており、強磁性層 2 5 の磁化の向きと第 1 および第 2 軟磁性層 2 2、2 3 の磁化の向きとの相対角度に応じて電気抵抗が変化するようにになっている。第 1 軟磁性層 2 2 中には、磁性を有し且つ第 1 軟磁性層 2 2 よりも電気抵抗が大きい軟磁性層間層 2 8 が設けられている。積層体 2 中を電流が流れる際、電子が軟磁性層間層 2 8 の表面で反射されるため、それだけ電子の通路が狭められ、従って抵抗変化率が大きくなる。

【選択図】 図 7